



# Inovace zařízení na výrobu jadrových přízí s nanovláknny

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 3909T010 – Inovační inženýrství  
*Autor práce:* **Bc. Martin Chára**  
*Vedoucí práce:* prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.



# Innovation of device for production of core yarn with nanofibers

## Master thesis

*Studyprogramme:* N2301 - Mechanical Engineering  
*Studybranch:* 3909T010 - Innovation Engineering  
*Author:* **Bc. Martin Chára**  
*Supervisor:* prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Chára**  
Osobní číslo: **S16000301**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Inovační inženýrství**  
Název tématu: **Inovace zařízení na výrobu jádrových přízí s nanovláknny**  
Zadávací katedra: **Katedra částí a mechanismů strojů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Inovujte princip zařízení na výrobu jádrových přízí s nanovláknny při zachování parametru stávajícího zařízení.

1. Představení problému (cíl, seznámení s problémem, stávající řešení)
2. Naplánování projektu (harmonogram, inovační příležitosti, inovační prohlášení)
3. Návrh konceptů, zhodnocení jednotlivých variant a výběr nejvýhodnější varianty
4. Rozpracování konečné varianty
5. Zhodnocení inovace vůči na trhu existujícím konstrukcím
6. Závěrečné zhodnocení

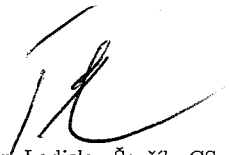
Rozsah grafických prací: přílohy dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 50  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

- [1] MAŠÍN, I. Inovační inženýrství a Plánování a návrh inovovaného výrobku. 1. vydání Liberec: TUL, 2012. 168s ISBN 978-80-7372-852-6  
[2] LEPŠÍK, P. a VODIČKA, J. Plánování a řízení společných projektů. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 124s. ISBN 978-80-7372-920-2.  
[3] LEPŠÍK, P. a MAŠÍN, J. Nástroje řízení projektů. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 202s. ISBN 987-90-7372-854-0.  
[4] LEPŠÍK, P. a MAŠÍN, J. Analýza procesů. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 132s. ISBN 987-90-7372-456-6.  
[5] PEŠÍK, L. Části strojů. 1. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0  
[6] PEŠÍK, L. Části strojů. 2. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7  
[7] LEINVEBER, J. a VÁVRA, P. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4  
[8] MAŠÍN I. a ŠEVČÍK, L. Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku. Vyd. 1. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4  
Databáze knihovny TUL

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.**  
Katedra částí a mechanismů strojů  
Konzultant diplomové práce: **Bc. Filip Sanetrník**  
Katedra netkaných textilií a nanovláknenných materiálů  
Datum zadání diplomové práce: **5. listopadu 2017**  
Termín odevzdání diplomové práce: **5. února 2019**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 18. října 2017

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval především mé rodině, která mě vždy podporovala ve vzdělání a poskytovala mi povzbudivé a materiální zázemí po celou dobu studia. Dále děkuji panu prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc., který byl vedoucí mé práce a vstřícně mi poskytoval mnoho cenných rad. A v neposlední řadě děkuji pracovníkům katedry textilních a jednoúčelových strojů a pracovníkům katedry netkaných textilií a nanovláknenných materiálů za poskytnutí odborných informací.

**Anotace:**

Diplomová práce je zaměřena na inovaci způsobu nanášení nanovláken na přízi. Z tohoto vlákného útvaru je vyráběn svíčkový filtr. Postup práce je dán inovačními metodami inovace výrobku. Je navrženo několik konceptů a metodou Analytic hierarchy process je vybrán koncept pro rozpracování. Rozpracovaný koncept je v závěru práce porovnán se stávajícím řešením.

Klíčová slova: nanovlákná, příze, svíčkový filtr, inovace, electrospinning

**Annotation:**

This master thesis is focused on innovation of the method of application of nanofibers on yarn. A candle filter is produced from this fiber body. The procedure is based on innovative methods of product innovation. Several concepts are proposed and the Analytic hierarchy process is used for selection of concept for designing. The designed concept is compared at the end of the thesis with the current solution.

Keywords: nanofibers, yarn, candle filter, innovation, electrospinning

## Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Cíl.....	10
1.2	Seznámení s problémem.....	11
1.2.1	Vinutá filtrační jádra.....	12
1.2.2	Technologie výroby nanovláken.....	13
1.3	Stávající řešení.....	16
2	Plánování inovace.....	20
2.1	Harmonogram.....	20
2.2	Inovační příležitosti.....	21
2.3	Inovační prohlášení.....	22
2.4	Patentový průzkum.....	23
3	Návrh konceptů.....	26
3.1	QFD.....	26
3.2	Morfologická matice.....	28
3.3	Koncept 1.....	29
3.4	Koncept 2.....	31
3.5	Koncept 3.....	33
3.6	Koncept 4.....	35
3.7	Výběr konceptu.....	37
3.7.1	Hodnocení konceptů.....	38
3.7.2	Volba kritérií.....	39
3.7.3	Výpočet - AHP.....	40
4	Rozpracování vybrané varianty.....	45
4.1	Výpočet parametrů pro balonování.....	45
4.1.1	Stanovení rozmezí poloměrů rotace.....	45
4.1.2	Ověření balonování experimentem.....	47



4.2	Konstrukce rotace a vyosení příze.....	51
4.2.1	Volba pohonu rotace .....	51
4.2.2	Volba způsobu přenášení otáček .....	51
4.2.3	Konstrukce vyosení .....	52
4.2.4	Sestava rotace .....	53
4.2.5	Výpočet napnutí řemenů .....	54
4.2.6	Kontrola tuhosti příruby .....	55
4.2.7	Kontrola ložiska .....	55
4.3	Konstrukce předpětí.....	56
4.4	Konstrukce uchycení filtru a navíjení.....	58
4.4.1	Výběr elektromotoru .....	58
4.4.2	Rychlostní poměry při navíjení .....	59
4.4.3	Volba optického senzoru .....	60
4.4.4	Sestava navíjení.....	61
4.5	Konstrukce rozvádění .....	62
4.5.1	Typy vinutí .....	62
4.5.2	Volba lineárního pohonu .....	63
4.5.3	Úprava rozsahu pohybu dle aktuálního průměru návínu.....	65
4.5.4	Sestava rozvádění .....	66
4.6	Konstrukce sušící komory .....	66
4.6.1	Volba topného zařízení.....	66
4.6.2	Konstrukce vedení vzduchu .....	67
4.7	Rozmístění v rámu.....	68
5	Zhodnocení inovace .....	71
6	Závěr.....	74

# 1 Úvod

V současnosti je rozvoj nanomateriálů trendem po celém světě. Nanomateriály nalézají uplatnění v různých oborech lidské činnosti a jednou z těchto oblastí je filtrace kapalinných a plynných médií. Pro filtraci je vhodné využití nanomateriálu ve formě nanovláken, která mohou být nanášena na podkladovém materiálu nebo použita samostatně. Filtrace je důležitá například v medicíně pro vytvoření zdravotně nezávadného sterilního prostředí a v mnoha odvětvích průmyslu. Dalším trendem, který se týká téměř každého, je rostoucí znečištění životního prostředí a snaha o jeho eliminaci. Velké množství lidí, zejména ve státech Afriky, nemá přístup k nezávadné a čisté vodě a ke zlepšení jejich života by pomohla jednoduchá filtrace neupravené vody. Díky použití nanovláken ve filtru je možné zachytit některé druhy bakterií a částice alergenů a snížit tak kontaminaci vody. Možnost filtrovat menší částice lze využít například při odstranění kvasinek a nežádoucích mikroorganismů z piva a není nutné použít pasteraci, při které dochází k degradaci chutě piva a proces je oproti filtraci energeticky náročnější. Výhodou filtrů s nanovláknem je jejich vyšší účinnost a nižší tlaková ztráta, které je dosaženo menším zaplněním textilie a tím zvýšení pórovitosti.

## 1.1 Cíl

V této práci bude provedena inovace experimentálního zařízení na výrobu vinutých filtračních jader. Konkrétně jde o výrobu pomocí elektrostatického zvlákňování v rámci projektu s názvem „Vinutá filtrační jádra z kompozitních nanovláknenných přízí“, který probíhá v Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace v Liberci (CxI). V diplomové práci bude především řešena inovace principu zařízení, tedy technologický proces, při kterém jsou nanášena nanovláknena na jádro a vzniká tak kompozitní nanovláknenná příze. Pro inovované zařízení bude použit stejný typ příze a stejné jádro filtru, jako v předchozím řešení.

Cílem inovace zařízení bude především zvýšení produktivity nanášení nanovláken. Produktivita je jedním z klíčových ukazatelů z pohledu průmyslového inženýrství a zlepšení tohoto ukazatele je důležité pro následnou aplikaci v komerčním prostředí. Dalším cílem práce bude snížení komplexity současného systému. Redukce tohoto významného parametru bude v tomto případě důležitá z hlediska údržby. Zařízení bude navrženo tak, aby byla kompozitní nanovláknenná příze navíjena přímo na jádro filtru po usušení. Pokud by příze byla po technologickém procesu navíjena na špulku, ze které by byla následně převíjena na jádro filtru, docházelo by k plýtvání zbytečnou manipulací a prodlužování průběžné doby. Pro správnou filtrační schopnost vinutého filtru bude důležité udržet nízkou míru překroucení

příze při průchodu zařízením a také sílu, jakou bude utahována na jádru filtru. Tyto cíle budou naplňovány popsány kroky inovačního procesu.

**Tabulka 1.: Základní cílové parametry**

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Délka filtru	250 mm
Vnitřní průměr filtru	27 mm
Vnější průměr filtru	45 mm
Jemnost příze	80 tex
Počet operátorů	2
Procento zakrytí povrchu příze nanovláknem	50%
Rychlost průchodu příze zařízením	100 m/min
Regulace utahovací síly při navíjení	Elektronická, přesnost 0,1 N

Na začátku je vytvořen harmonogram celé práce, který určí postup a strukturu procesu inovace. Následuje zpracování požadavků na zařízení do základních parametrů pomocí metody QFD. Posledním úkolem této fáze je provedení patentového průzkumu, který může poskytnout důležité informace pro tvorbu konceptů. V počátku další fáze je zpracována morfologická matice na základě vlastních nápadů a řešení z patentového průzkumu. Z této matice jsou vygenerovány 4 koncepty, které jsou následně ohodnoceny. Výpočtem metodou AHP je vybrán vítězný koncept.

Následující fáze se zabývá rozpracováním a konstrukčním řešením jednotlivých uzlů vítězného konceptu vybraného v předchozí fázi. Konstrukce jednotlivých částí zařízení je řešena tak, aby byly splněny cíle inovace. V předposlední části práce je zhodnoceno nové inovované řešení vůči předcházejícímu stavu zařízení. Nakonec je provedeno závěrečné hodnocení jednotlivých kroků a naplnění cílů práce.

## **1.2 Seznámení s problémem**

V této kapitole jsou stručně popsány dvě zásadní problematiky, které jsou nejpodstatnější pro pochopení funkce stávajícího a inovovaného zařízení. Jde o základní náhled na vinutá filtrační jádra, což je výrobek řešeného zařízení. Druhou problematikou je teorie výroby nanovláken, která je klíčovým procesem, při kterém je přidávána hodnota výrobku.

## 1.2.1 Vinutá filtrační jádra

Základní rozdělení filtrace je na povrchovou a hloubkovou. Při povrchové filtraci jsou částice zachycovány na povrchu filtru, kde se tvoří vrstva nazývaná filtrační koláč. Po vytvoření této vrstvy dochází k zachycování menších částic než na počátku filtrace. Vrstva postupně narůstá a snižuje se průtok filtrem. Hloubková filtrace funguje na principu zachycování částic v celém objemu filtru. Tloušťka hloubkového filtru bývá obvykle větší než u povrchového.



Obrázek 1.: Povrchová a hloubková filtrace [1]

Vinutá filtrační jádra fungují na principu hloubkové filtrace a v komerčním prostředí jsou nazývána vinutými filtračními svíčkami. Tento typ filtru má zpravidla dvě hlavní části. První částí je perforovaná dutinka, která má funkci nosného prvku a díky ní drží filtr tvar. Nejčastějším materiálem používaným pro dutinku je polypropylen a nerezová ocel. Druhou částí je médium, které je v tomto případě tvořeno kompozitní nanovláknennou přízí. Ta je těsně navinuta na dutinku v požadované vrstvě. Nejběžnější materiál média je například bavlna, viskóza, polyester, polypropylen a skleněná vlákna. Filtrační svíčky jsou vyráběny v různých nominálních délkách.



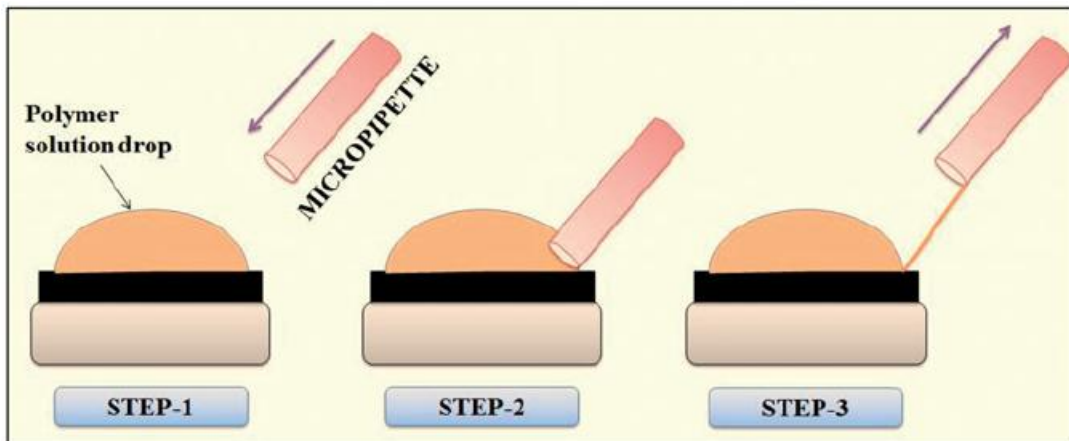
Obrázek 2.: Filtrační svíčky [2]

### 1.2.2 Technologie výroby nanovláken

Nanovlákná patří do skupiny nanomateriálů a jedná se o délkový útvar, přičemž jeho délka výrazně převyšuje ostatní rozměry. Označení nanovlákná se používá pro vlákna s průměrem menším než 1 mikrometr ( $\mu\text{m}$ ). Nejčastěji se průměry pohybují od 100 do 800 nanometrů (nm). Jako základní materiál se zpravidla používá tavenina nebo roztok přírodního nebo syntetického polymeru. Netkané nanovláknenné textilie mají nízkou hustotu, několikanásobně větší měrný povrch oproti mikrovláknům a vysokou porozitu. Tyto vlastnosti je předurčují k úspěšnému použití při filtraci. Technologií výroby, která začala ve 20. století, je několik a budou zde krátce představeny.

#### Drawing

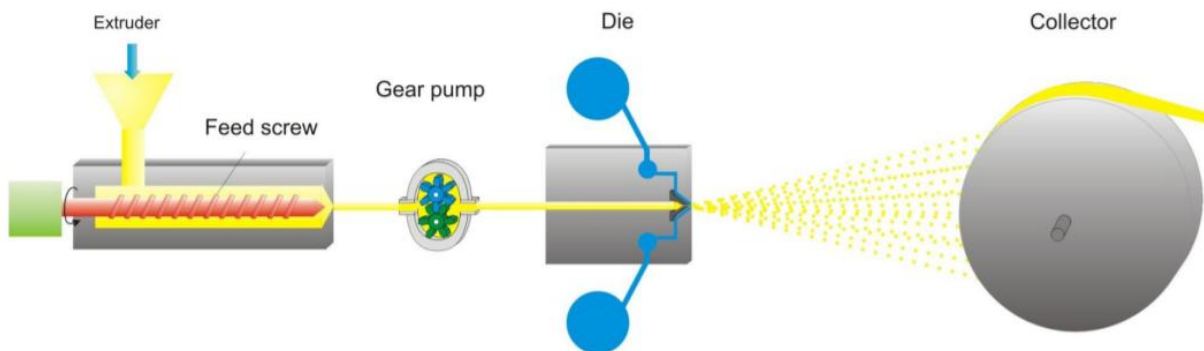
Drawing neboli dlužení je metoda pomocí které lze vyrábět jednotlivá nanovlákná. Princip spočívá ve vytažení vlákna mikropipetou z kapky polymeru umístěného na podložce. Nejprve je tedy na povrch nanesena milimetrová kapka tekutého polymeru a následuje přiblížení mikropipety ke kraji kapky. Po kontaktu se mikropipeta pohybuje zpět a z kapky je vytahováno vlákno. Toto je základní a nejjednodušší postup a výsledky závisí na použitém materiálu, rychlosti dlužení vlákna a rychlosti vypařování rozpouštědla z polymeru. Jedná se o nekontinuální proces, který se používá pouze v laboratořích.



Obrázek 3.: Drawing [3]

## Melt-blown

Technologie melt-blown se používá pro výrobu mikrovláken, ale lze ji použít i pro výrobu nanovláken. Pro produkci vláken o průměru menší než 1 mikrometr je nutné použít polymer s vysokým indexem toku taveniny (MFI) a to minimálně 1000 a zároveň musí být velmi čistý. Proces výroby začíná roztavením a dopravou polymeru k hubici. Zde je pomocí horkého stlačeného vzduchu roztavený polymer urychlován skrz štěrbinu a následuje jeho dloužení a chladnutí. Vznikající vlákna jsou zachycena na kolektoru.

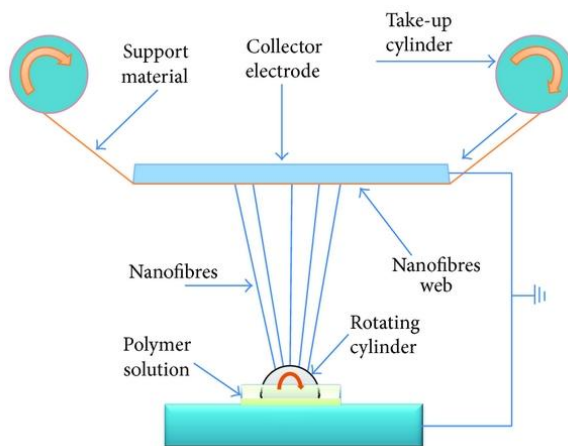


Obrázek 4.: Melt-Blown [4]

## Elektrospinning

Elektrostatické zvlákňování neboli elektrospinning funguje na principu dvou elektrod, na které je přivedeno vysoké stejnosměrné napětí. Na kladnou elektrodu je přiveden tekutý polymer a je nazývána zvlákňovací elektrodou. Na kolektor, na kterém jsou zachycována vlákna, je přiveden záporný nebo nulový potenciál. Samotné vlákno vzniká díky působení

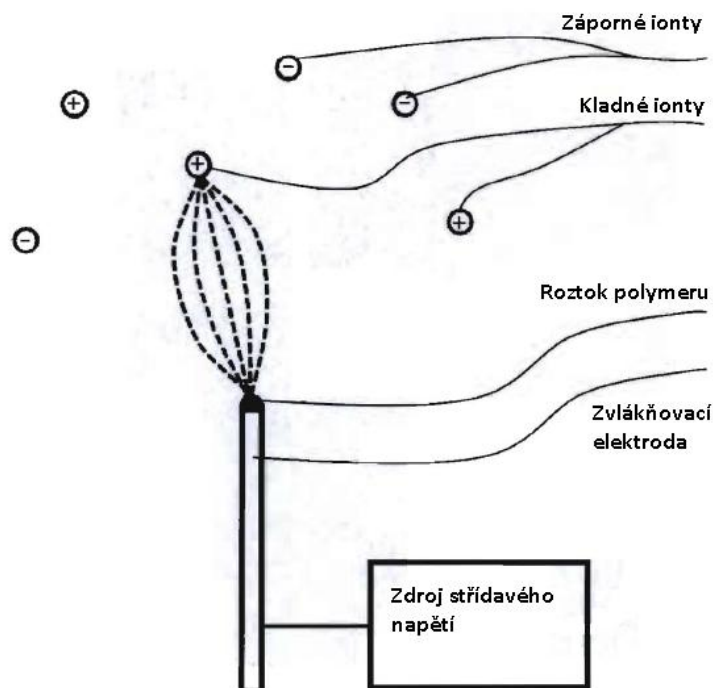
Coulombovy síly na kapku polymeru a po překonání síly povrchového napětí dochází k vytahování polymeru směrem ke kolektoru. Rychlost přesunu polymeru se zvyšuje a nastává tak dloužení a zmenšování průměru. Postupně dochází také k vypařování rozpouštědla a tak přechází polymer do tuhé fáze nanovlákná. Tento princip je použit ve stávajícím zařízení a je používán v průmyslových aplikacích.



Obrázek 5.: Electrospinning [5]

### Zvlákňování střídavým proudem

Tato nová technologie využívá podobně jako elektrospinning účinků elektrického napětí. V tomto případě jde však o napětí střídavé a elektrické pole vzniká mezi elektrodou a ionizovaným okolím. Podle fáze se na elektrodě vytváří nanovlákná, která se shlukují do lineárního útvaru a jsou unášena volně prostorem ve směru gradientu napětí. Tato nanovlákná jsou elektricky neutrální a jsou vhodná pro další zpracování standardními textilními operacemi.



Obrázek 6.: Zvlákňování střídavým proudem [6]

### 1.3 Stávající řešení

Laboratorní zařízení provozované v CxI je používáno pro experimentální výrobu vinutých filtračních jader. V této zvlákňovací jednotce probíhá nanášení nanovláknenné vrstvy na jádro příze a vytvoření kompozitní příze, která se v následujícím zařízení navíjí a vzniká tak filtrační jádro. Principem je zvlákňování pomocí stejnosměrného napětí vytvořeného rozdílem potenciálů mezi strunnou elektrodou a sběrnou elektrodou.

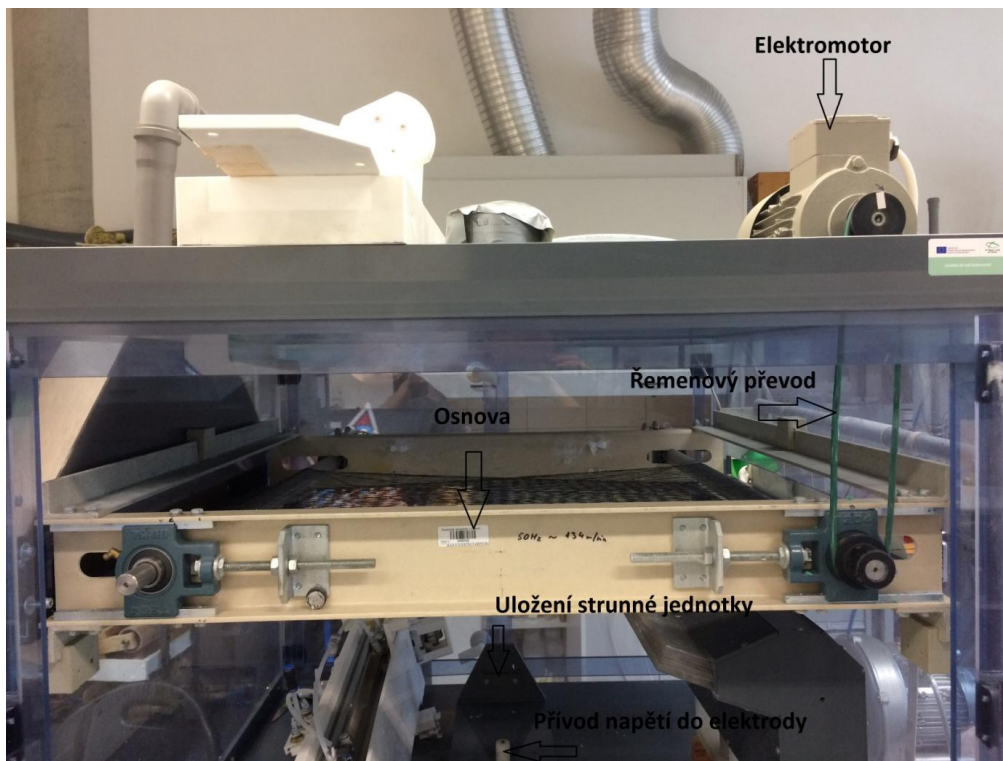
Stávající zařízení používá jako elektrodu jednotku dodanou firmou Elmarco nebo elektrodu vlastní konstrukce. V principu jde o strunu, na kterou je průběžně nanášen polymer a z jeho povrchu se odvíjí vlákna směrem ke sběrné elektrodě. Sběrná elektroda je osnova, která je tvořena dvěma kovovými rotujícími válci, mezi kterými je navlečeno jádro příze. Jeden z válců je poháněn elektromotorem a druhý válec je roztáčen třením pohybující se příze. Elektromotor je umístěn v bezpečné vzdálenosti a otáčky jsou přivedeny pomocí nevodivého řemenového převodu. Regulace otáček je zajištěna frekvenčním měničem a regulace vzdálenosti elektrod je umožněna posuvem strunné jednotky-elektrody pomocí šroubového zvedáku s kličkou.

Základní problematikou konstrukce zvlákňovacího prostou je především oblast elektrostatického pole o vysokém napětí v řádu několika desítek kV, která vyplývá z

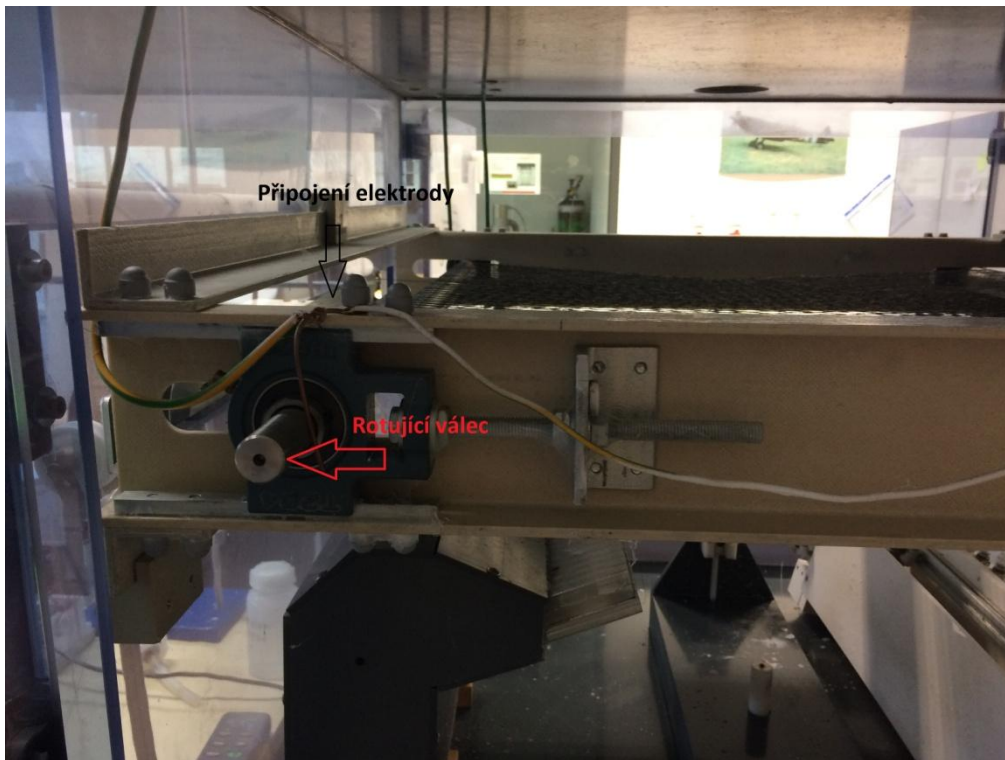


technologie zvlákňování. Proto je nutné mít na mysli při návrhu řešení, že vodivé komponenty musí být umístěny v bezpečné vzdálenosti, nebo být řádně odizolovány.

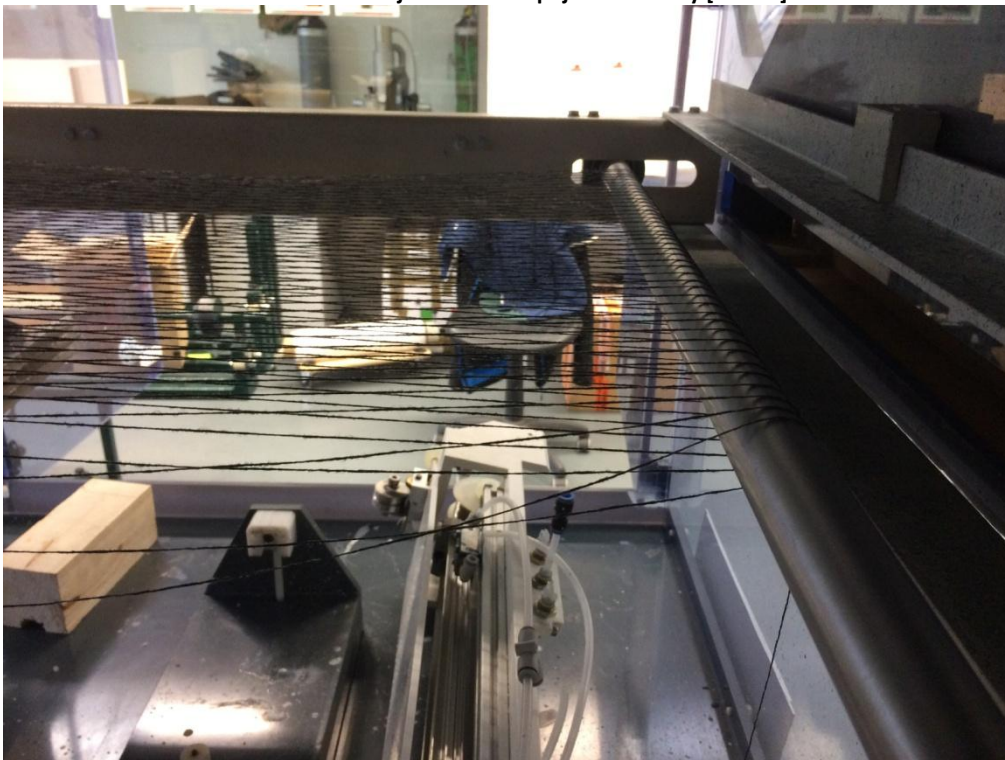
Při provozu stávajícího zařízení vzniká několik nežádoucích efektů. Zásadním problémem je stav, při kterém vzniklá nanovlákná letící směrem ke sběrné elektrodě minou přízi a nedojde k nanesení. Tato nenanesená nanovlákná představují ztráty a především dochází k zanášení válců a ostatních komponent umístěných ve zvlákňovacím boxu. Dalším problémem je nízká soudržnost mezi nanosenou polymerní vrstvou nanovláken a jádrem. Tato nízká soudržnost může způsobovat odtrhávání nanovrstvy při kontaktu s rotujícími válci a průchodem přes vodící kladky. Nanovlákná v takovém případě nejsou nanosená rovnoměrně po celé délce příze.



Obrázek 7.: Stávající řešení - Celkový pohled [vlastní]



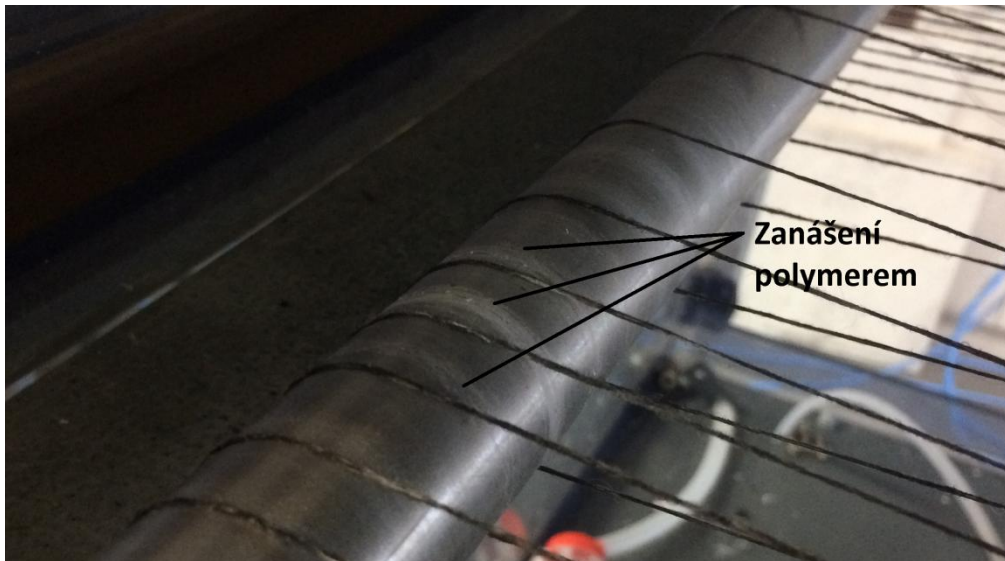
Obrázek 8.: Stávající řešení - Připojení elektrody [vlastní]



Obrázek 9.: Stávající řešení - Navlečená příze na válci [vlastní]



Obrázek 10.: Stávající řešení - Strunová elektroda firmy Elmarco [vlastní]



Obrázek 11.: Stávající řešení - Zanášení válců polymerem [vlastní]

## 2 Plánování inovace

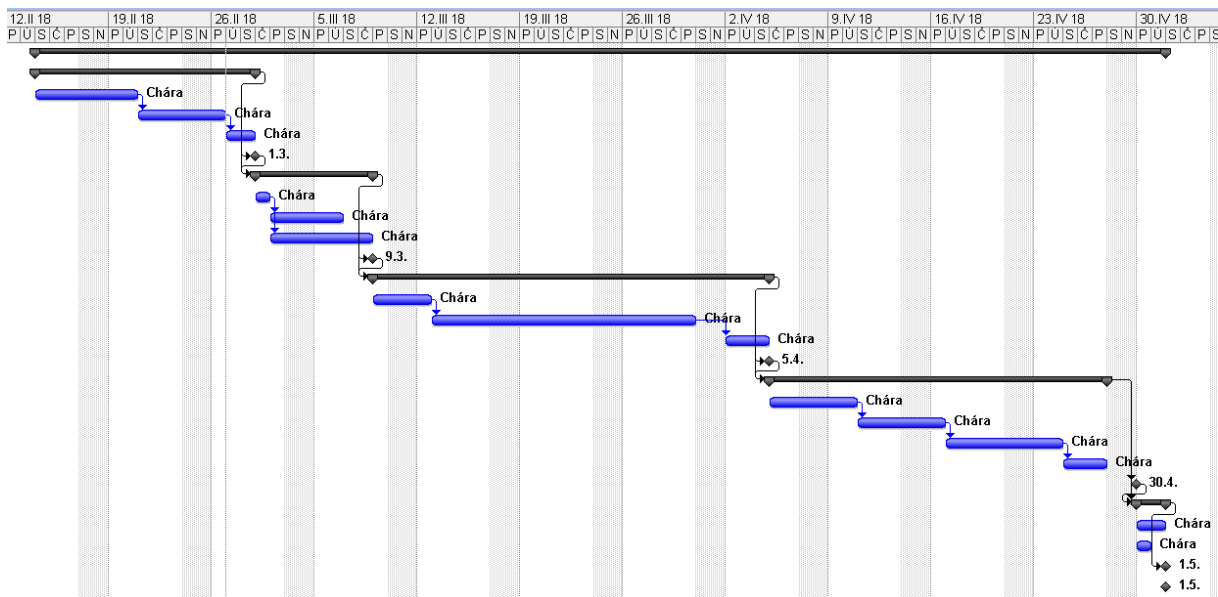
Na začátku této kapitoly je vytvořen harmonogram pro časové rozplánování inovace a vytvořena struktura inovačního procesu. Následuje shrnutí směru inovace, předpoklady a omezení v tabulce inovačního prohlášení. Provedením patentového průzkumu budou vytvořeny podklady pro následující návrhovou část.

### 2.1 Harmonogram

Celý inovační proces je rozdělen do pěti hlavních fází, které vychází ze zadaných zásad pro vypracování. Ke splnění jednotlivých fází je potřeba splnit dílčí úkoly, kterým je přidělen předpokládaný potřebný čas. Většina úkolů má vazbu Finish to Start, jelikož na sebe logicky navazují. Některé úkoly by bylo možné plnit paralelně, ale bylo zvoleno postupné plnění úkolů, aby nedocházelo k přecházení z jedné činnosti do druhé. Struktura procesu je zobrazena v Ganttově diagramu.

	📌	Název úkolu	Doba trvání	Zahájení	Dokončení
1		<b>▣ Diplomová práce</b>	<b>55 dny</b>	<b>14.2. 18</b>	<b>1.5. 18</b>
2		<b>▣ Fáze 1 - Seznámení</b>	<b>11 dny</b>	<b>14.2. 18</b>	<b>28.2. 18</b>
3		Seznámení s problematikou	5 dny	14.2. 18	20.2. 18
4		Analýza stávajícího řešení	4 dny	21.2. 18	26.2. 18
5		Stanovení cíle	2 dny	27.2. 18	28.2. 18
6		Konec fáze 1	0 dny	28.2. 18	1.3. 18
7		<b>▣ Fáze 2 - Zpracování podkladů</b>	<b>6 dny</b>	<b>1.3. 18</b>	<b>8.3. 18</b>
8		Inovační prohlášení	1 den	1.3. 18	1.3. 18
9		HOQ	3 dny	2.3. 18	6.3. 18
10		Patentový průzkum	5 dny	2.3. 18	8.3. 18
11		Konec fáze 2	0 dny	8.3. 18	9.3. 18
12		<b>▣ Fáze 3 - Koncepty</b>	<b>19 dny</b>	<b>9.3. 18</b>	<b>4.4. 18</b>
13		Zpracování morfologické matice	2 dny	9.3. 18	12.3. 18
14		Vytvoření konceptů	14 dny	13.3. 18	30.3. 18
15		Výběr konceptu	3 dny	2.4. 18	4.4. 18
16		Konec fáze 3	0 dny	4.4. 18	5.4. 18
17		<b>▣ Fáze 4 - Rozpracování vybraného konceptu</b>	<b>17 dny</b>	<b>5.4. 18</b>	<b>27.4. 18</b>
18		Výpočet a konstrukce vyosení	4 dny	5.4. 18	10.4. 18
19		Konstrukce uchycení filtru	4 dny	11.4. 18	16.4. 18
20		Konstrukce rozvádění přize	6 dny	17.4. 18	24.4. 18
21		Konstrukce sušící komory	3 dny	25.4. 18	27.4. 18
22		Konec fáze 4	0 dny	27.4. 18	30.4. 18
23		<b>▣ Fáze 5 - Zhodnocení inovace</b>	<b>2 dny</b>	<b>30.4. 18</b>	<b>1.5. 18</b>
24		Porovnání s původním řešením	2 dny	30.4. 18	1.5. 18
25		Závěrečné zhodnocení	1 den	30.4. 18	30.4. 18
26		Konec fáze 5	0 dny	1.5. 18	1.5. 18
27		Konec projektu	0 dny	14.2. 18	1.5. 18

Obrázek 12.: Plánování inovace [vlastní]



Obrázek 13.: Ganttův diagram [vlastní]

## 2.2 Inovační příležitosti

Inovační příležitosti vyplynou ze sestavené korelační matice. Na jednotlivých řádcích jsou zaneseny projekce do budoucnosti, které zastupují probíhající trendy. Ve sloupcích jsou zaneseny inovační příležitosti, kterým jsou dle míry korelace přiřazeny body.

Tabulka 2.: Korelační matice inovačních příležitostí

Projekce do budoucnosti		Váha	Inovační příležitosti				
			Různé velikosti filtrů	Variabilní jemnost příže	Autonomní úprava parametrů navíjení	Ověřená technologie	Snížení ztrát při nanášení nanovláken
Výroba velkého sortimentu v malých dávkách	8	9	9	3	0	1	1
Nasazení v komerčním prostředí	8	3	3	3	9	3	9
Minimum lidské obsluhy	5	0	0	9	3	0	1
Zvýšení efektivity	7	0	0	3	3	9	1
		96	96	114	108	95	92

Z výsledků korelační matice plyne, že významnou inovační příležitostí je autonomní úprava parametrů navíjení a použití ověřené technologie. Ostatní inovační příležitosti mají také relativně vysokou významnost a v návrhu inovace by neměly být opomenuty.

## 2.3 Inovační prohlášení

V tabulce inovačního prohlášení je uveden základní směr inovace, potřebné předpoklady pro úspěch procesu a omezení. Tím je vytvořeno podrobnější zadání inovace zařízení na výrobu vinutých filtrů s kompozitní nanovláknennou přízí.

**Tabulka 3.: Inovační prohlášení**

Popis inovovaného výrobku - záměr	Návrh zařízení z normalizovaných prvků pro výrobu vinutých filtračních jader na základě ověřené technologie. Na zařízení lze vyrábět různé filtry a je vyřešena autonomní úprava parametrů navíjení. Médium filtru je z kompozitní nanovláknenná příze.
Klíčové obchodní cíle	Prodej inovovaného návrhu, patentování řešení
Primární trh	Experimentální laboratoře
Sekundární trh	Výrobci vinutých filtračních jader
Předpoklady	Znalost metod inovačního inženýrství, CAD licence
Omezení	Aplikace nové a málo rozšířené technologie

## 2.4 Patentový průzkum

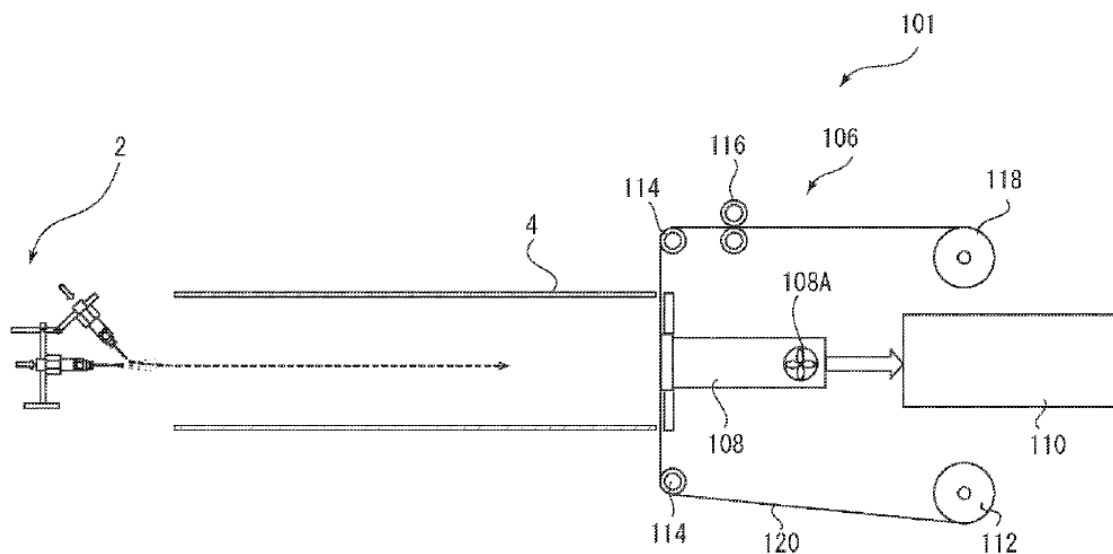
Cílem patentového průzkumu je prozkoumat technická řešení, která se týkají řešené problematiky. Díky tomu není nutné při tvorbě konceptů spoléhat pouze na vlastní kreativitu, ale je možné využít již ověřená řešení. Při průzkumu patentů je důležité ohodnotit, zda je možné adaptovat patentované řešení pro náš případ. K tomuto účelu byl využit webový server Úřadu průmyslového vlastnictví a Google patents a vyhledávání bylo zaměřeno na způsoby tvorby nanovláken.

Klíčová slova při vyhledávání:

- produce nanofiber
- polymeric nanofibers
- nanofibers

### US 2017/0016146A1

Řešení uvedené v tomto patentu vzniklo reakcí na nebezpečné použití vysokého napětí při electrospinningu. Patent pochází původně z Japonska a je založen na horkém a rychle proudícím vzduchu, do kterého je vstřikován roztavený polymer. V proudu vzduchu jsou vytahována nanovlákna, která jsou následně zachycena na podklad. Výhodou je větší bezpečnost a absence rozpouštědel v polymeru. Nevýhodou je vysoký nárok na čistotu polymeru a také malá produktivita při vstřikování z jedné jehly.



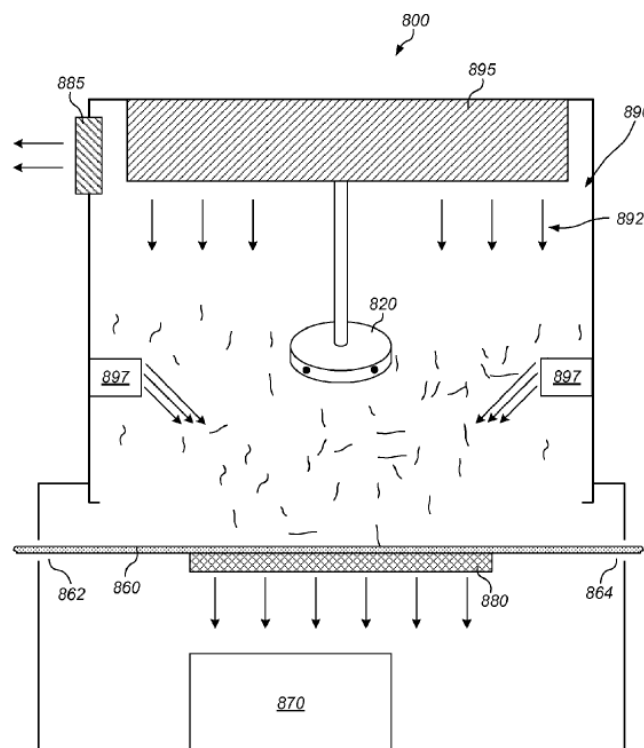
Obrázek 14.: Zvlákňování horkým vzduchem [7]

## US 9527257 B2

V tomto patentu je produkce nanovláken také zajišťována bez použití principu elektrického napětí. Řešení v tomto případě je založeno na rotaci disku, ve kterém je vnitřními dutinami dopravován tekutý polymer a pomocí odstředivé síly je vytlačován štěrbinami na obvodu disku. Ze štěrbin jsou vytlačována vlákna, která obsahují ionizované příměsové částice a mají opačný náboj než podkladový materiál pod rotujícím diskem. Díky tomu jsou pomocí elektrostatických sil přitahována k podkladovému materiálu, na kterém se zachycují. Pro lepší směřování vláken směrem k podkladu je dále využíván proud vzduchu z externích větráků. Pro produkci vláken je nutné rotovat diskem minimálně 1000 ot/min.

Výhodou tohoto řešení je absence vysokého napětí, což zlepšuje bezpečnost a také vyšší produkce díky použití mnoha vytlačovacích štěrbin na obvodu. Nevýhodou je velmi komplikované usměřování vláken k podkladovému materiálu a velké proudění vzduchu, které ovlivňuje kvalitu vzniklých vláken.

U.S. Patent      Dec. 27, 2016      Sheet 10 of 10      US 9,527,257 B2

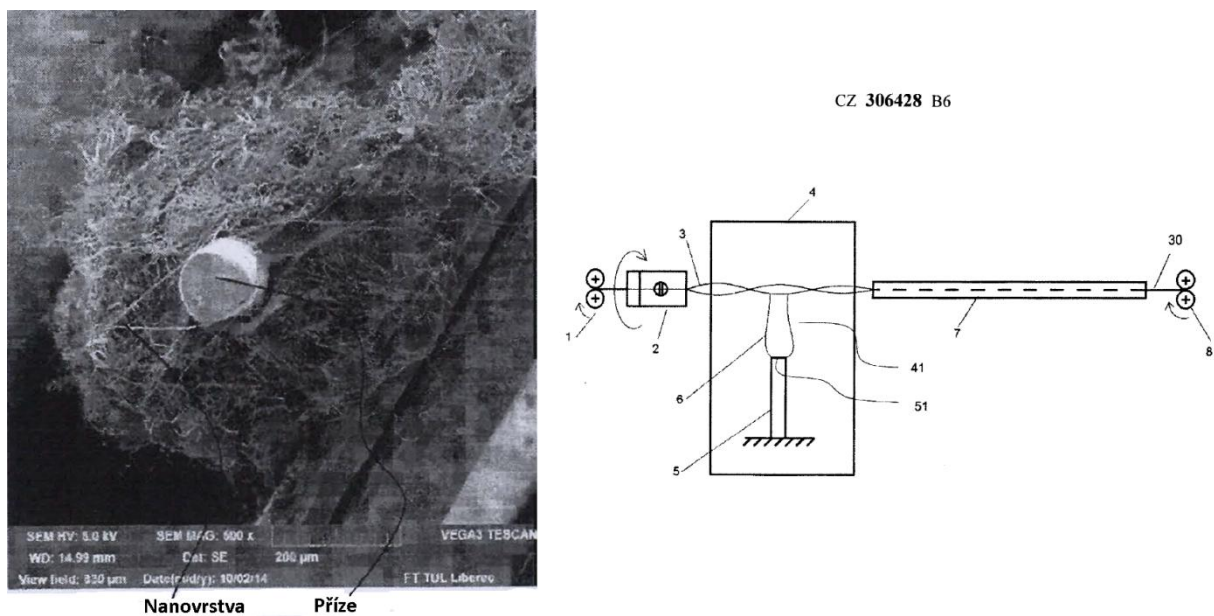


Obrázek 15.: Zvlákňování odstředivou silou [8]



## CZ 306428 B6

Vzhledem k cíli této práce je nejzajímavější patent č. 306428, který popisuje nový způsob výroby nanovláken a jejich nanášení na přízi. Jde o výrobu pomocí střídavého proudu, která je kombinována s efektem „balónování“ příze, jež zajišťuje efektivní nanášení vzniklých nanovláken. Při tzv. „balónování“ příze rotuje na větším poloměru, než by rotovala při rotaci kolem vlastní osy a není tak nutné používat velmi vysoké otáčky pro navíjení vláken. Nanovrstva je rovnoměrně nanesena ve tvaru spirály a má velkou soudržnost s přízí. Tato metoda je zapracována do následující morfologické matice, aby mohla být využita pro tvorbu konceptů.



Obrázek 16.: Zvlákňování střídavým proudem [9]

### 3 Návrh konceptů

V této kapitole jsou tvořeny návrhy konceptů, které by měly splnit stanovené cíle. Nejprve je zpracována matice QFD pro zajištění požadavků zákazníka a pro podporu kreativity je využita morfologická matice, ze které vyplynou různé koncepty, jež jsou následně rozpracovány jako 3D modely. Tyto koncepty jsou následně ohodnoceny z různých hledisek a pro vyhodnocení vhodné varianty je využita metoda AHP.

#### 3.1 QFD

Metoda QFD vznikla v 70. letech v Japonsku a jde o strukturovaný postup, při kterém je zpracován hlas zákazníka (Voice of Customer). Tato metoda zajišťuje, že potřeby zákazníka budou ovlivňovat nejen samotný návrh výrobku, ale také konstrukci, výrobu a servis. Principem jsou navzájem provázané korelační matice, ve kterých jsou na řádcích zaneseny cíle a ve sloupcích prostředky pro jejich naplnění. Cílům je přiřazena váha a vzájemná míra korelace je ohodnocena 0, 1, 3 nebo 9 body. Ve středu matice je zanesena vzájemná korelace parametrů zařízení a to jak záporná tak kladná. Výsledkem jsou podklady pro konstruktéra v podobě konkrétních hodnot, na základě kterých provede návrh výrobku. Metoda QFD může být velmi rozsáhlá a vyžaduje zkušený multi-profesní tým. V této práci je proto zpracována pouze základní matice, která se nazývá HoQ (House of Quality).

Při získávání potřeb uživatelů je někdy nutné jejich požadavky upravit do tvaru vhodného pro použití v matici QFD. Například požadavek typu: „chci, aby se mi to dobře drželo“ nahradit výrazem ergonomická rukojeť. Následující tabulka byla vytvořena na základě rozhovoru s potencionálními uživateli inovovaného zařízení a následně byla zapracována do matice QFD.

Tabulka 4.: Požadavky uživatelů zařízení

Požadavky zákazníka	Váha
Dobré vyndávání a zandávání filtru	8
Jednoduchá výměna součástí zařízení	5
Co nejméně čištění zařízení	7
Zkoušení různých druhů přízí	8
Zkoušení různě dlouhých filtrů	5
Zkoušení různě širokých návínů	5
Použití v malé laboratoři	3

Konstrukce jednoduchá na pochopení obsluhou	5
Montáž může částečně dělat i obsluha	5
Samonavíjení na dutinu filtru	7
Tvorba vláken není ovlivněna běžným pohybem v okolí zařízení	7
Zařízení musí obsluhovat málo lidí	3

Tabulka 5.: Matice QFD

1 bod ●

3 body ○

9 bodů ⊙

Silná kladná korelace ★

Kladná korelace +

Záporná korelace -

Silná záporná korelace x

Potřeby zákazníků			Jednotky													
		Váha	n	s	mm	mm	mm	mm	mm	min	A/N	A/N	tex	m	m <sup>2</sup>	A/N
			Počet lidí obsluhy	Čas výměny filtru	Minimální délka filtru	Maximální délka filtru	Min. vnější průměr filtru	Max. vnější průměr filtru	Čas čištění zařízení	Použití normaliz. dílů	Autom. regulace napnutí	Maximální jemnost přize	Výška zařízení	Zastavěná plocha	Uzavřený zvlákn. prostor	
Údržba	Snadná výměna filtrů	8	●	●	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○
	Snadná výměna dílů	5	●						●	●	○			○	○	○
	Snadné čištění	7	○						●	○	●			○	○	●
Univerzálnost	Různé jemnosti přize	8									○	●				○
	Různé délky filtrů	5		○	●	●	●	●	●	○						
	Různé průměry filtrů	5		○	●	●	●	●	●	○	●					
Rozměry zařízení	Malá výška	3								●			○	●	●	●
	Malá zastavěná plocha	3								●			●	○	●	●
Jednoduchost stavby zařízení	Jednoduchá konstrukce	5	○		●	●	●	●		○				○	○	○
	Jednoduchá montáž	5	○		●	●	●	●		○				○	○	○
Automatizace a spolehlivost	Samočinný proces	7	○								○	●				
	Stabilita procesu	7					●	●			○	●	●			●
	Malý počet operátorů	3	●	○					○	○	●			○		●
<b>Absolutní významnost</b>			<b>112</b>	<b>111</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>149</b>	<b>189</b>	<b>79</b>	<b>104</b>	<b>129</b>	<b>228</b>	
<b>Relativní významnost</b>			<b>7,5</b>	<b>7,4</b>	<b>5,6</b>	<b>5,6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5,2</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>5,3</b>	<b>6,9</b>	<b>8,6</b>	<b>15</b>	
<b>Cílová hodnota</b>			<b>2</b>	<b>60</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>50</b>	<b>80</b>	<b>10</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>200</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>A</b>	
<b>Směr zlepšení</b>			↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	●	●	↑	↓	↓	●	

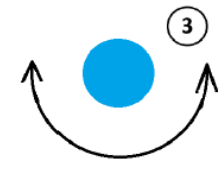
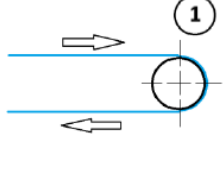
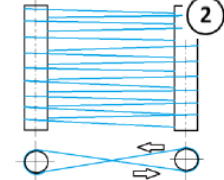
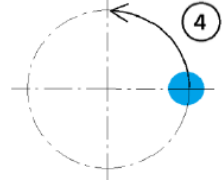
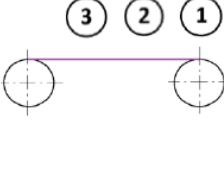
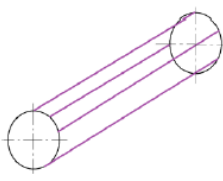

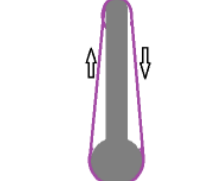
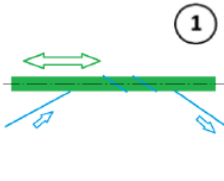
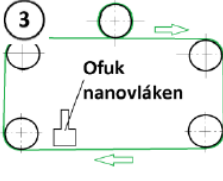
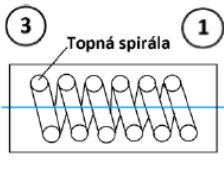
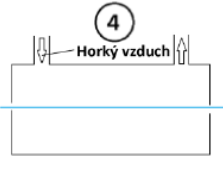
Při konstrukci zařízení bude důležité věnovat se charakteristikám, které mají největší významnost. Nejvýznamnějším parametrem je použití uzavřeného zvláknovacího prostoru, pomocí kterého splníme požadavek na stabilitu procesu a zjednodušíme čištění. Dále je nutné zajistit automatickou regulaci napnutí příze při navíjení a použít co nejvíce normalizované díly při konstrukci, aby byla jednoduchá modifikovatelnost a opravitelnost zařízení. Zastavěná plocha by měla být co nejmenší, aby zařízení mohlo být provozováno v menších laboratořích a jako cílová hodnota je zvoleno 10 m<sup>2</sup>. Ostatním parametrům není nutné věnovat tak velkou pozornost, ale měla by být snaha splnit cílové hodnoty.

### **3.2 Morfologická matice**

Morfologická matice slouží k přehledné a názorné tvorbě různých návrhů uspořádání výrobků a zařízení. V levé části matice jsou v řádcích vypsány jednotlivé funkce, které je třeba zajistit. K nim jsou v pravé části vypracovány různé principy, kinematická schémata nebo uspořádání, které zajistí danou funkci. Dále zde mohou být rozpracovány různé tvary a struktury výrobků nebo části zařízení. Tvoření konceptů probíhá propojením jednotlivých buněk (v každém řádku jedna buňka) vytvořené matice. Propojení je znázorněno pomocí čísel 1-4, což jsou čísla konceptů.

Jako princip tvorby nanovláken je v morfologické matici zahrnuta pouze výroba pomocí elektrického napětí, jelikož jde o nejzralejší řešení. Je zde zaneseno jak průmyslově používané stejnosměrné napětí, tak nově vyvinutá technologie s využitím střídavého napětí. Následují různé druhy pohybu příze ve zvláknovacím prostoru a tvary elektrod, na kterých je tenký film tekutého polymeru. Dále jsou zde uvedeny návrhy na čištění elektrody a také možné způsoby urychlení vypaření rozpouštědla z tekutých vláken sušením.

Tabulka 6.: Morfologická matice

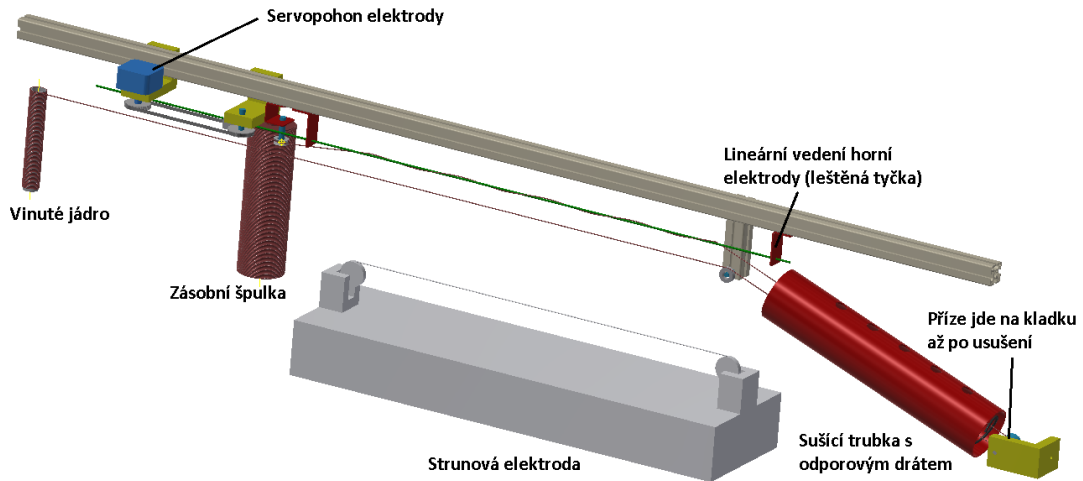
Typ napětí	AC ④	DC ① ② ③		
Pohyb příze				
Tvar elektrody				
Čištění elektrody			Žádné čištění ②	Není záp. elektroda -> není čištění ④
Sušení vláken			Bez sušení ②	

Z této matice byly vytvořeny čtyři koncepty, z nichž koncept číslo 2 je nejméně radikální a jde spíše o evoluci stávajícího řešení. Tato varianta byla rozpracována pro projekt probíhající v Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace a zařízení bude vyrobeno pro experimentální výrobu filtrů. Naopak koncept číslo 4 je díky zvolenému napětí v podstatě ve všech ohledech jiný než současné řešení.

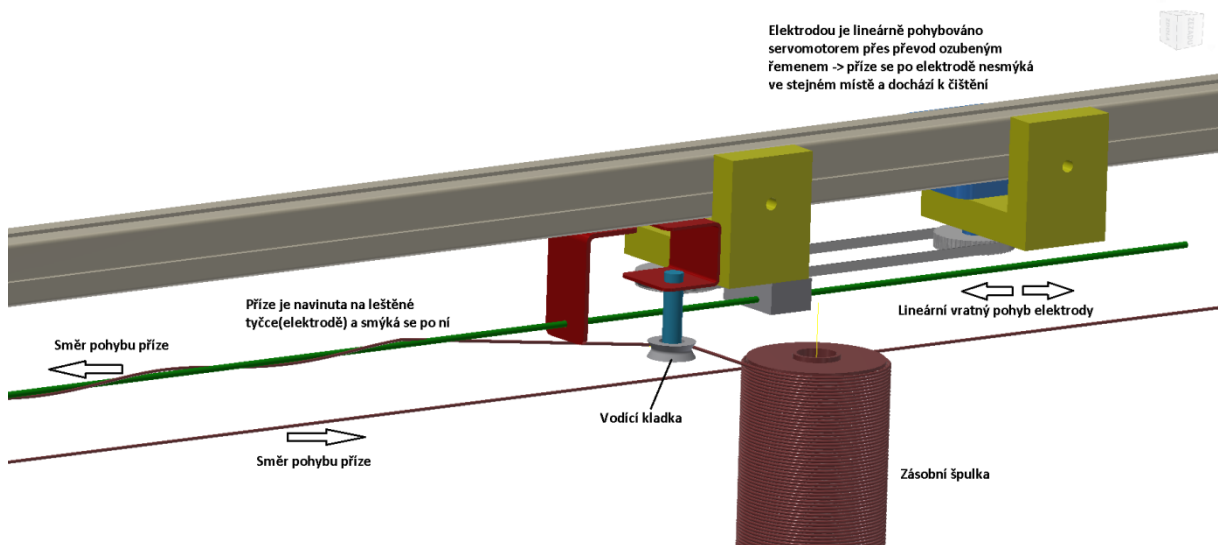
### 3.3 Koncept 1

V tomto návrhu je příze vedena vodící kladkou na elektrodu pod úhlem stoupaní, ve kterém je na elektrodu navinuta. Elektroda je leštěná tyčka a příze je okolo ní navinuta několika závitů. Dále je příze vedena opět úhlem stoupaní z elektrody pryč skrz sušící komoru, která má tvar trubky a je opatřena větracími otvory pro odvod výparů. Komora je vytápěna odporovým drátem ve tvaru spirály. Po usušení je příze směřována vratnou kladkou a vrací se komorou zpět směrem ke zvlákňovacímu prostoru. Příze je vedena v blízkosti elektrody, jsou na ni

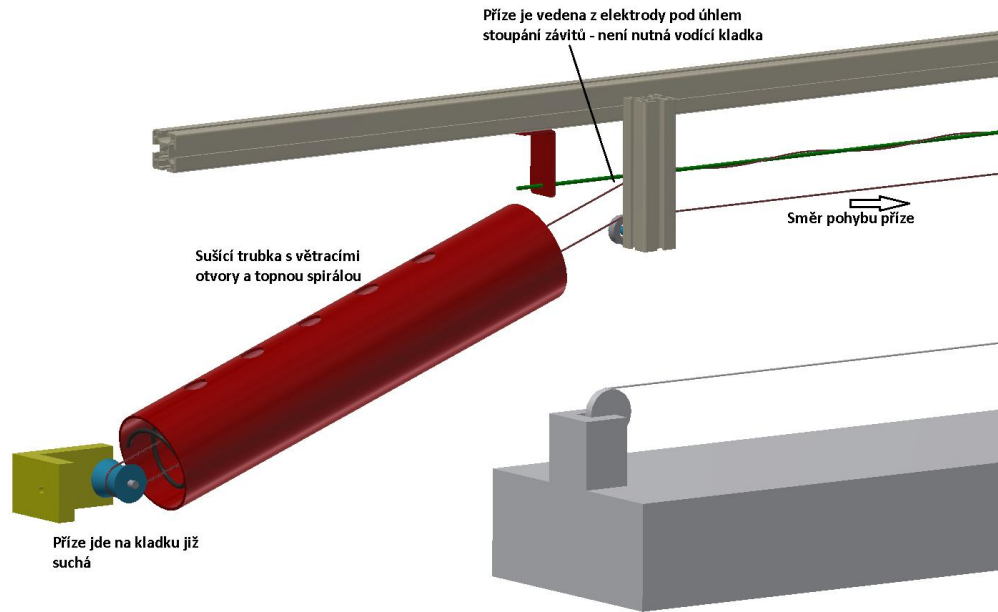
nanášena čistá vlákna a po opuštění zvlákňovacího prostoru je navinuta na jádro. Při procesu je lineárně pohybováno elektrodou, aby bylo zajištěno, že se příze po elektrodě nebude smýkat po stejné dráze. Toto smýkání zajišťuje čištění elektrody přízí od polymeru. Lineární vratný pohyb je navrhnout pomocí servomotoru a řemenového pohonu.



Obrázek 17.: Koncept 1.1 [vlastní]



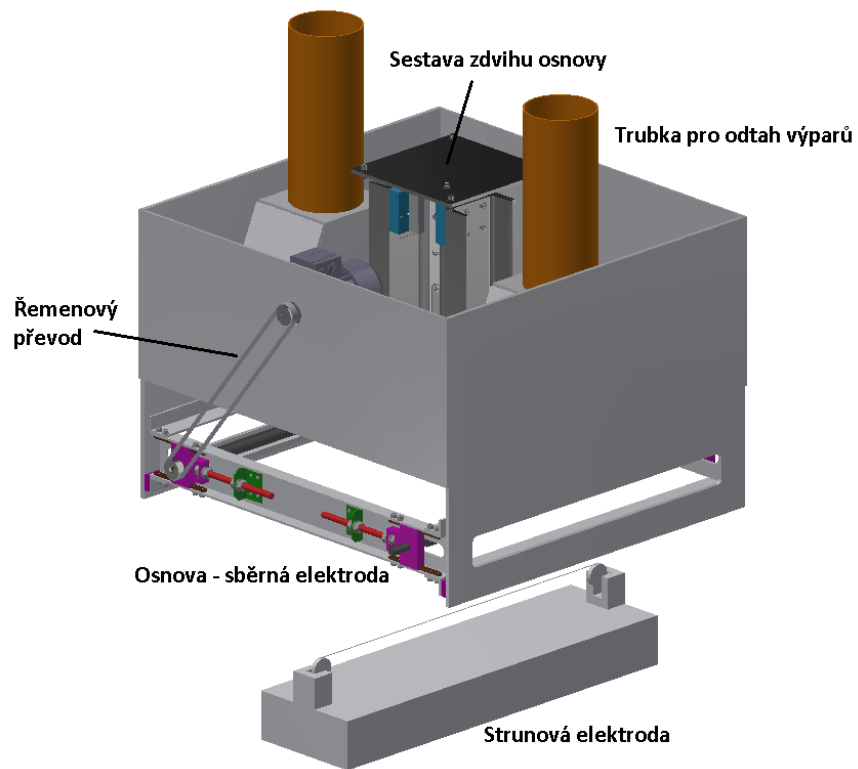
Obrázek 18.: Koncept 1.2 [vlastní]



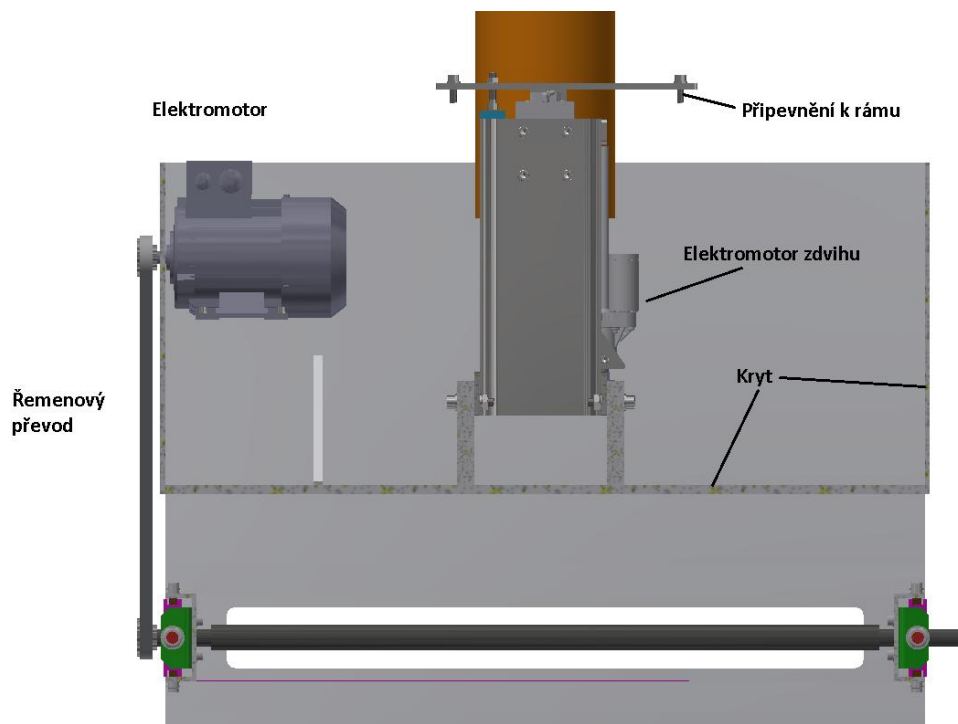
Obrázek 19.: Koncept 1.3 [vlastní]

### 3.4 Koncept 2

V tomto návrhu je použita osnova jako v původním řešení. Elektromotor, který pohání jeden z válců osnovy, je umístěn v krytu. Kryt je plastový svařenec z desek, ve kterém jsou štěrby pro odvod výparů a kruhové otvory pro připojení vzduchotechniky. Otáčky na poháněný válec jsou přivedeny pomocí řemenového převodu. Motor s řemenicí je umístěn v bezpečné vzdálenosti od vysokého napětí. Sestava zdvihu je složena z ocelového svařence, ke kterému je připojeno lineární vedení a stejnosměrný elektromotor. K motoru je kompaktně připojena šneková převodovka se závítovou tyčí s trapézovým závitem. Celá sestava je zavěšena na rámu a připojena k plastovému krytu.

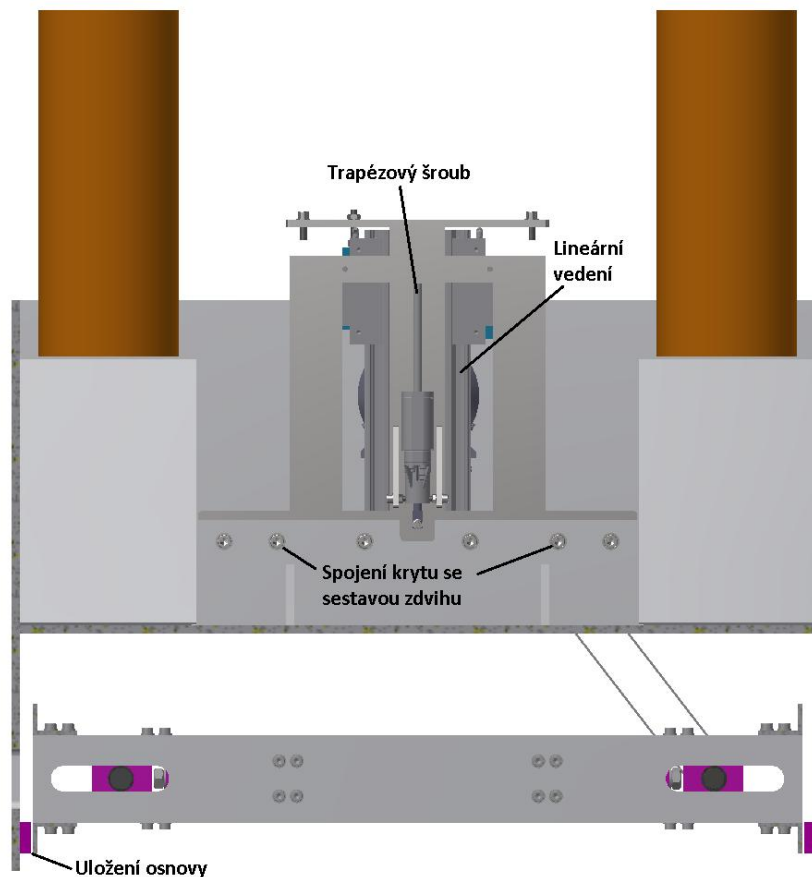


Obrázek 20.: Koncept 2.1 [vlastní]



Obrázek 21.: Koncept 2.2 [vlastní]

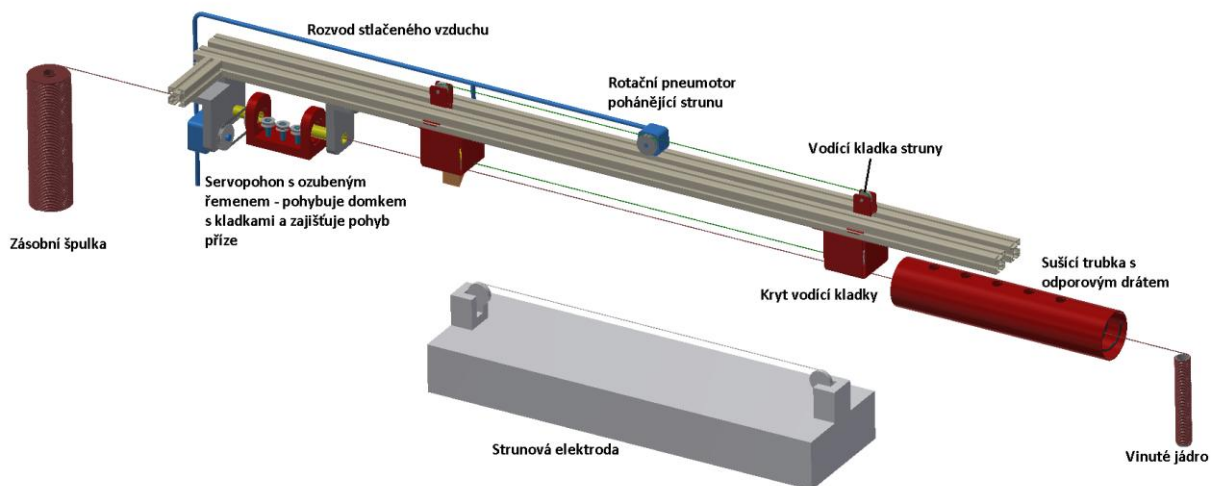




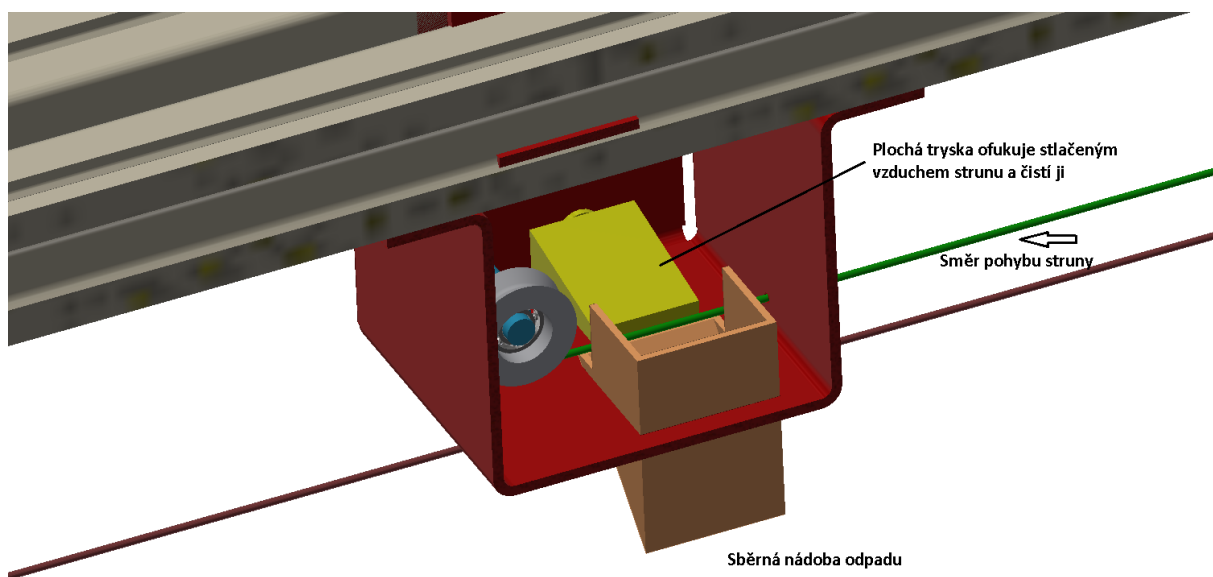
Obrázek 22.: Koncept 2.3 [vlastní]

### 3.5 Koncept 3

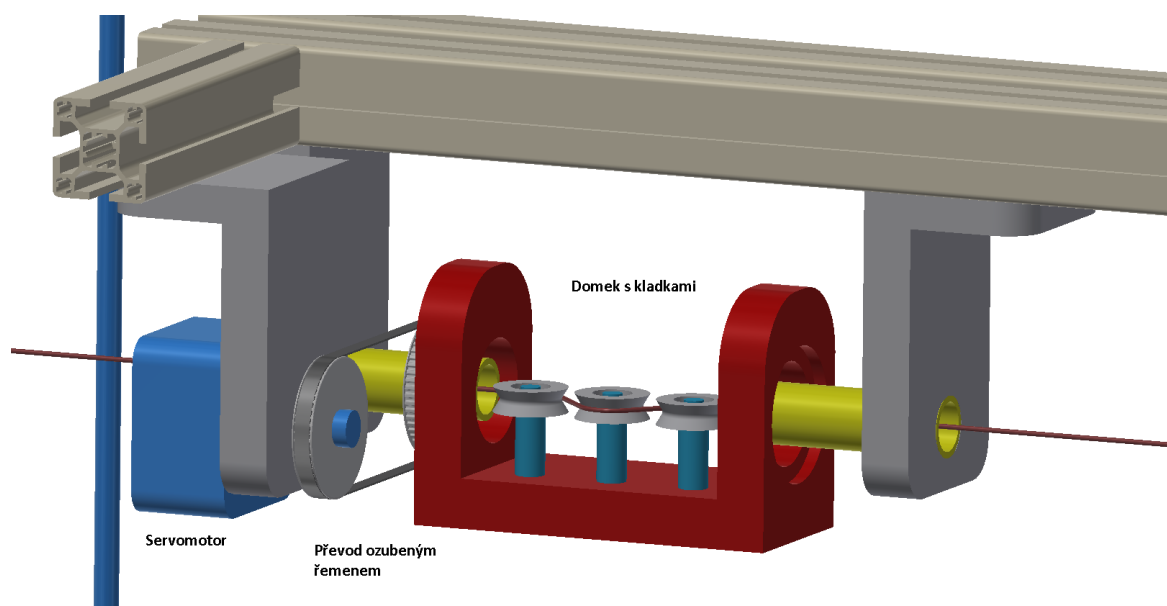
V tomto návrhu je příze ze zásobní špulky vedena do domku s třemi kladkami. Domek bude rotovat a příze vstupuje a vystupuje v ose rotace. Navlečením na prostřední kladku je vytvořena tvarová vazba pro lepší přenos rotace na přízi. Servomotor přes převod ozubeným řemenem vratně rotuje domkem a přízí. Frekvence otáčení je zvolena tak, aby nedocházelo k překrucování příze na vinutém jádru. Přízi vedené v blízkosti strunné elektrody je rotováno z důvodu lepšího nanášení vláken díky nabalování. Po průchodu zvláknovacím prostorem je příze vedena skrz sušící komoru tvaru trubky s větracími otvory a dále následuje navíjení na jádro. Trubka je vytápěna odporovým drátem ve tvaru spirály. Horní zápornou elektrodu tvoří nerezová smyčka, která je tažena přes vodící kladky rotačním pneumatorem. V jednom z dvojice krytů kladek je umístěna plochá tryska, která stlačeným vzduchem ofukuje ulpívající polymer na struně a tím strunu čistí. Přebytečný polymer je shromažďován v nádobce.



Obrázek 23.: Koncept 3.1 [vlastní]



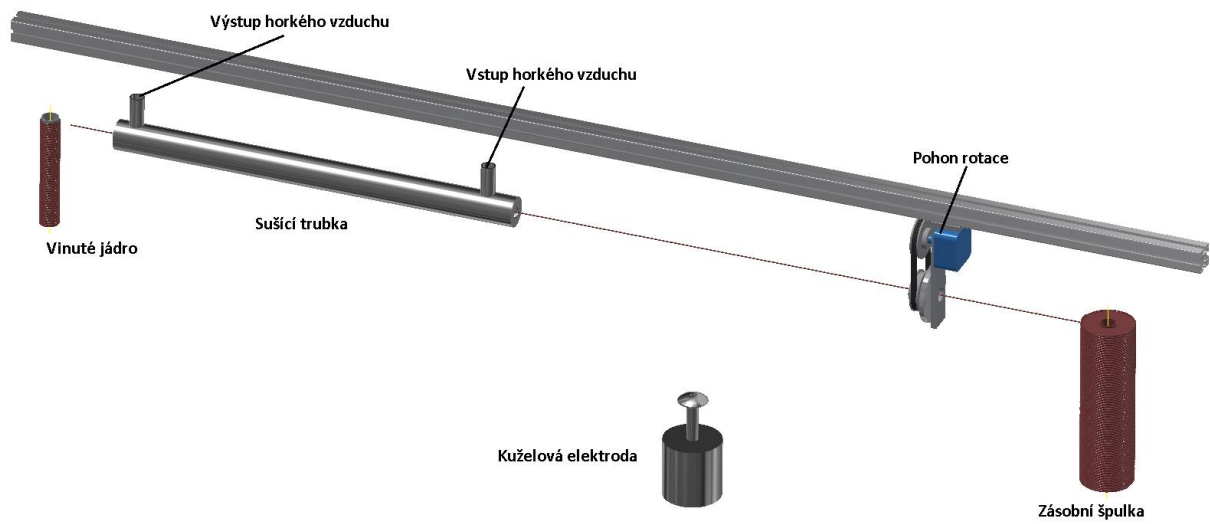
Obrázek 24.: Koncept 3.2 [vlastní]



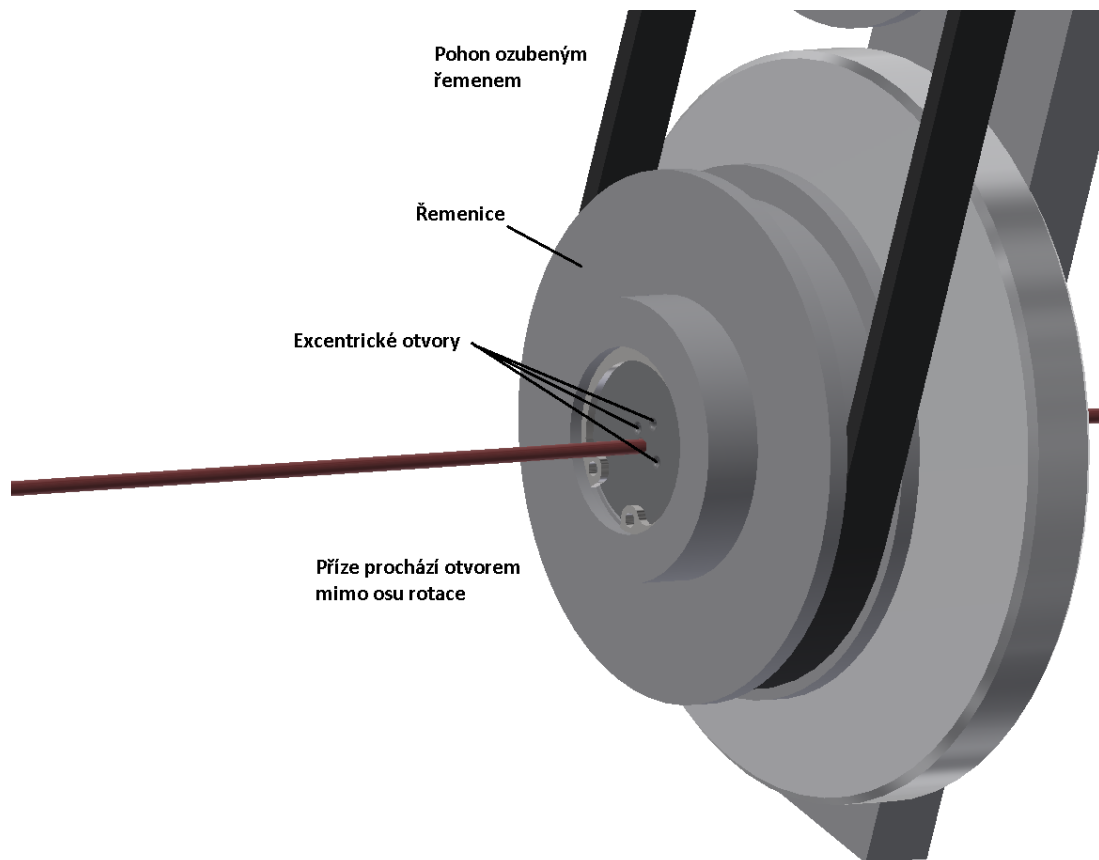
Obrázek 25.: Koncept 3.3 [vlastní]

### 3.6 Koncept 4

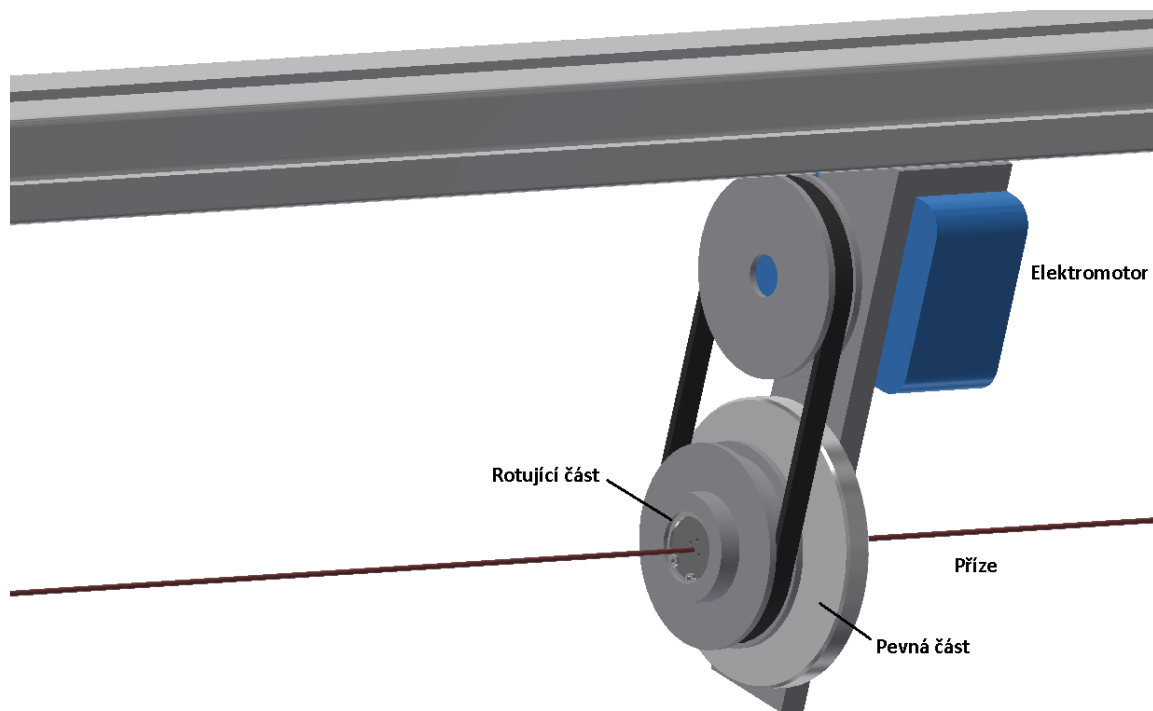
V posledním návrhu je příze vedena do rotujícího mechanismu, který je poháněn přes řemenový převod elektromotorem. V duté řemenici uložené na ložisku je vložka s dírami. Díry jsou vyvrtány v různých vzdálenostech od osy otáčení a volbou díry, kterou se provleče příze, můžeme měnit prametry efektu balonování. Díky tomuto efektu můžeme použít nižší otáčky elektromotru. Nanovlákná vlečka vzniká na kuželové elektrodě a tekutý polymer je na její povrch dopravován vnitřním otvorem vedoucím v ose elektrody. Nanovlákná jsou na přízi nanášena ve tvaru spirály a po nanesení prochází sušicí trubicou. Do sušicí trubky je na jednom konci vháněn horký vzduch a na druhém konci odchází spolu s vypařenými rozpouštědly. Následně je vzniklá kompozitní příze navinuta na jádro filtru.



Obrázek 26.: Koncept 4.1 [vlastní]



Obrázek 27.: Koncept 4.2 [vlastní]

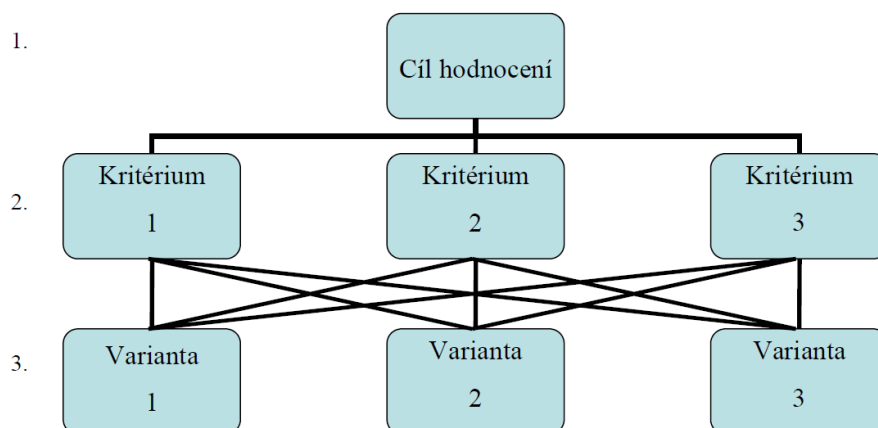


Obrázek 28.: Koncept 4.3 [vlastní]

### 3.7 Výběr konceptu

Pro výběr konceptu, který bude dále rozpracován, je provedeno nejprve slovní hodnocení každé navržené varianty. Následovat bude vyhodnocení vítězné varianty pomocí metody AHP.

AHP (Analytic hierarchy process) je metoda, která vznikla v roce 1970 v USA a jedná se o komplexní metodologii pro podporu rozhodování při výběru z variant na základě empirických i konkrétních kritérií. Rozhodovací proces lze znázornit jako víceúrovňovou hierarchickou strukturu. V našem případě se jedná o strukturu o třech úrovních, kde na první úrovni je cíl hodnocení neboli uspořádání variant dle vhodnosti pro další rozpracování. V druhé úrovni jde o ohodnocení důležitosti jednotlivých kritérií a ve třetí úrovni jsou ohodnoceny navržené varianty.



Obrázek 29.: Schéma AHP [10]

### 3.7.1 Hodnocení konceptů

#### 1. Koncept

Výhodou toho návrhu je, že elektroda je průběžně čištěna přízí a lineární pohyb leštěné tyčky lze jednoduše vyřešit z bezpečné vzdálenosti servomotorem. Další výhoda spočívá v tom, že příze s nanovláknem uschne v sušící komoře, než je vracena kladkou zpět a nemůže tak docházet k zalepování kladky polymerem. Nevýhodou je, že čistá nanovláknena jsou na přízi nanášena pouze z jedné strany a další problém by mohlo způsobovat velké tření při smýkání po elektrodě a tudíž vysoké utažení jednotlivých vrstev na vinutém jádře. Tento problém by musel být dodatečně řešen například doplněním pohonu vratné kladky za sušící komorou.

#### 2. Koncept

Kladnou stránkou tohoto návrhu je, že vlákna jsou na přízi nanášena v delším úseku v porovnání s jinými návrhy a že vlákna částečně čistí válce osnovy, které tvoří elektrodu. Vlákna jsou nanášena z obou stran díky opačnému směru otáčení válců. Nevýhoda konstrukce spočívá v nutnosti pohánět jeden válec elektromotorem, který musí být odizolován od vysokého napětí. Další nevýhodou je pohánění druhého válce přes přízi a může tak dojít k přetržení. Při opětovném navádění příze je nutno rozpojit řemenový převod a poměrně těžkou osnovu vyndat ze zařízení. Tento návrh je ze všech nejméně modifikovatelný, což pro experimentální zařízení je nevýhodné.

#### 3. Koncept

Přízi je v této konstrukci vratně rotováno, což zajistí nabalování nanovláken po celém obvodu a nepřekrucování na vinutém jádře. Příze je vedena pouze v rotujícím domku, takže klade

malý odpor při navíjení na jádro. Výhodou je použití rotačního pneumotoru při pohánění záporné elektrody-struny, jelikož ho lze použít v oblasti vysokého napětí. Čištění struny je vyřešeno jednoduše ofukem stlačeným vzduchem. Další výhodou je, že celé zařízení je snadno upravitelné. Vzhledem k vysoké rychlosti navíjení jsou vysoké nároky na frekvenci rotace a s tím spojené dynamické vyvážení celé soustavy. Byl by tedy potřeba správný návrh pohonu a optimalizace vedení nitě.

#### **4. Koncept**

Tento návrh je oproti ostatním nejvíce odlišný v tom, že díky použití střídavého napětí není potřeba používat zápornou sběrnou elektrodu. Díky tomu už z principu odpadá negativní efekt zanášení elektrody. Další výhodou tohoto principu je, že vzniklá nanovlákná vlečka je kompaktní, což zjednodušuje nanášení na přízi a je tím eliminován další negativní efekt, kdy vzniklá nanovlákná zanášela celý zvlákňovací prostor. Vytvoření mechanismu pro vyvolání efektu balonování není komplikované a bylo by jednoduše upravitelné, stejně jako sušící část zařízení, která je tvořena trubicí, do které je přiváděn horký vzduch.

#### **3.7.2 Volba kritérií**

Pro aplikaci metody AHP je potřeba zvolit kritéria, na základě kterých budou ohodnoceny jednotlivé koncepty. Prvním kritériem pro hodnocení je komplexita řešení, kde bude hodnocena složitost a množství dílů zařízení pro vytvoření požadovaného efektu. Dalším kritériem je zralost řešení a čištění/servisovatelnost, kde je návrh zhodnocen z hlediska náročnosti na údržbu. Dalším rozhodovacím faktorem je cena zařízení a poslední kritérium je možnost úpravy, jelikož se jedná o experimentální zařízení a je pravděpodobné, že v průběhu výzkumu budou úpravy požadovány.

Z jednotlivých kritérií je vytvořena tabulka a kritéria jsou mezi sebou ohodnocena dle významnosti pomocí bodů (1 až 9). Následně je potřeba provést kontrolu konzistence, aby bylo ověřeno, zda jsou body rozloženy proporcionálně správně. Index konzistence se vypočte dle vzorce  $CI = (\lambda_{max} - k) / (k - 1)$ , kde  $k$  je počet kritérií a  $\lambda_{max}$  je největší vlastní číslo matice. Index by měl mít hodnotu menší než 0,1. Pro výpočet největšího vlastního čísla a vlastního vektoru, které jsou potřeba v další části výpočtu, byl využit online nástroj AHP Priority Calculator na adrese [bpmmsg.com](http://bpmmsg.com).

**Tabulka 7.: Kritéria hodnocení s váhovými koeficienty**

Kritéria	Komplexita	Zralost řešení	Čištění/Servisovatelnost	Cena	Možnost úpravy
Komplexita	1	1/3	1/5	3	1/3
Zralost řešení	3	1	1	5	1/3
Čištění/Servisovatelnost	5	1	1	3	1
Cena	1/3	1/5	1/3	1	1/5
Možnost úpravy	3	3	1	5	1

**Tabulka 8.: Vlastní vektor kritérií**

Vlastní vektor
0.095154
0.221425
0.280006
0.055246
0.348169

Největší vlastní číslo:  $\lambda_{max} = 5,325$

Index konzistence:  $CI = \frac{5,325-5}{5-1} = 0,081$

Matice kritérií je konzistentní jelikož je  $CI < 0,1$

### 3.7.3 Výpočet - AHP

Po vytvoření vlastního vektoru kritérií následuje hodnocení všech konceptů z hlediska jednotlivých kritérií. Koncepty jsou mezi sebou porovnávány a bodovány obdobně, jako v předchozím případě kritéria. Cílem je získání vlastních vektorů pro každé kritérium a následuje vždy kontrola konzistence dat.



## Komplexita

Tabulka 9.: Hodnocení dle komplexity

Komplexita	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3	Koncept 4
Koncept 1	1	3	1	1/3
Koncept 2	1/3	1	1/3	1/5
Koncept 3	1	3	1	1/3
Koncept 4	3	5	3	1

Tabulka 10.: Vlastní vektor komplexity

Vlastní vektor
0.199834
0.078091
0.199834
0.522242

Největší vlastní číslo:  $\lambda_{max} = 4.044$

Index konzistence:  $CI = \frac{4,044-4}{4-1} = 0,015$

Matice kritérií je konzistentní, jelikož je  $CI < 0,1$

## Zralost řešení

Tabulka 11.: Hodnocení dle zralosti řešení

Zralost řešení	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3	Koncept 4
Koncept 1	1	1/3	1	1/5
Koncept 2	3	1	3	1
Koncept 3	1	1/3	1	1/3
Koncept 4	5	1	3	1

**Tabulka 12.: Vlastní vektor zralosti řešení**

Vlastní vektor
0.106450
0.360324
0.120108
0.413118

Největší vlastní číslo:  $\lambda_{max} = 4.033$

Index konzistence:  $CI = \frac{4,033-4}{4-1} = 0,008$

Matice kritérií je konzistentní, jelikož je  $CI < 0,1$

### **Čištění/Servisovatelnost**

**Tabulka 13.: Hodnocení dle čištění/servisovatelnosti**

Čištění/Servisovatelnost	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3	Koncept 4
Koncept 1	1	3	2	1/3
Koncept 2	1/3	1	1/3	1/5
Koncept 3	1/2	3	1	1/3
Koncept 4	3	5	3	1

**Tabulka 14.: Vlastní vektor čištění/servisovatelnosti**

Vlastní vektor
0.238211
0.076928
0.168213
0.516648

Největší vlastní číslo:  $\lambda_{max} = 4.104$

Index konzistence:  $CI = \frac{4,104-4}{4-1} = 0,035$

Matice kritérií je konzistentní, jelikož je  $CI < 0,1$

## Cena

Tabulka 15.: Hodnocení dle ceny

Cena	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3	Koncept 4
Koncept 1	1	5	3	3
Koncept 2	1/5	1	1/3	1/3
Koncept 3	1/3	3	1	3
Koncept 4	1/3	3	1/3	1

Tabulka 16.: Vlastní vektor ceny

Vlastní vektor
0.508287
0.075195
0.265351
0.151167

Největší vlastní číslo:  $\lambda_{max} = 4.198$

Index konzistence:  $CI = \frac{4,198-4}{4-1} = 0,066$

Matice kritérií je konzistentní, jelikož je  $CI < 0,1$

## Možnost úpravy

Tabulka 17.: Hodnocení dle možnosti úpravy

Možnost úpravy	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3	Koncept 4
Koncept 1	1	5	3	1
Koncept 2	1/5	1	1/3	1/3
Koncept 3	1/3	3	1	1/3
Koncept 4	1	3	3	1

**Tabulka 18.: Vlastní vektor možnosti úpravy**

Vlastní vektor
0.399405
0.081209
0.159443
0.359943

Největší vlastní číslo:  $\lambda_{max} = 4.115$

Index konzistence:  $CI = \frac{4,115-4}{4-1} = 0,038$

Matice kritérií je konzistentní, jelikož je  $CI < 0,1$

### Konečný výpočet

Pro získání konečného výsledku výběru varianty je sestavena matice z vlastních vektorů hodnocení konceptů a je vynásobena vlastním vektorem kritérií. Získáme tak pořadí konceptů, kde koncept s nejvyšším číslem je vítězný. Závěrečný výpočet byl proveden v programu MS Excel.

**Tabulka 19.: Závěrečný výpočet s výsledkem**

	Komplexita	Zralost řešení	Čištění/ Servisovatelnost	Cena	Možnost úpravy
Koncept 1	0,199834	0,106450	0,238211	0,508287	0,399405
Koncept 2	0,078091	0,360324	0,076928	0,075195	0,081209
Koncept 3	0,199834	0,120108	0,168213	0,265351	0,159443
Koncept 4	0,522242	0,413118	0,516648	0,151167	0,359943

<b>X</b>	Vektor kritérií	=	<b>Výsledný vektor</b>
	0,095154		0,276427
	0,221425		0,141184
	0,280006		0,162883
	0,055246		0,419505
	0,348169		

Z analýzy AHP nejlépe vychází Koncept 4, který má hodnotu 0,42 a bude v další fázi práce rozpracován. Jedná se o koncept, ve kterém je použito střídavé napětí a tudíž z principu odpadá nutnost čistit zápornou elektrodu.

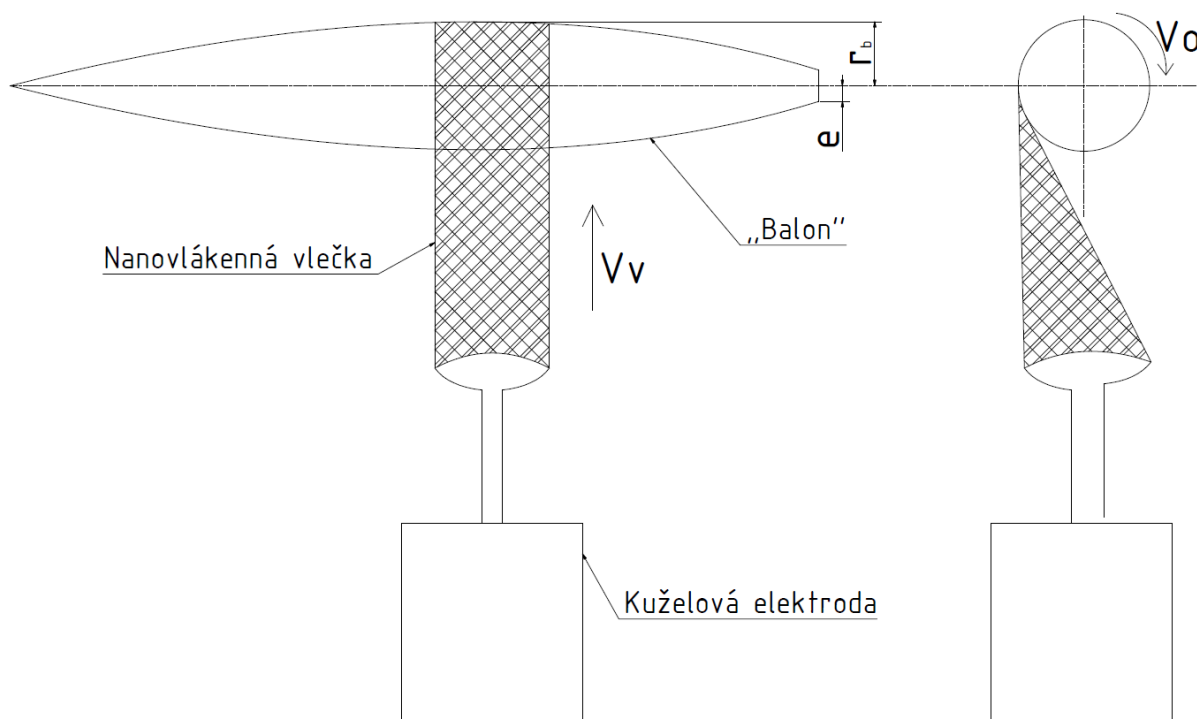
## 4 Rozpracování vybrané varianty

Vybraný koncept bude v této kapitole rozpracován po jednotlivých úsecích zařízení. Konstrukce bude navrhována tak, aby splnila parametry navržené při zpracování QFD a parametry dané cílem práce. V konstrukci je využívána patentovaná technologie a patentovaný tvar elektrody. Pokud by bylo zařízení sestaveno, bylo by nutné tyto záležitosti vyřešit, aby nedošlo k nelegálnímu použití.

### 4.1 Výpočet parametrů pro balonování

#### 4.1.1 Stanovení rozmezí poloměrů rotace

Při vybraném způsobu zvlákňování je využit efekt tzv. „balonování“ příze. Dutá nanovláknenná vlečka je unášena vlivem elektrického napětí směrem k rotující přízi. Na přízi se navíjí na poloměru balonu  $r_b$ . Obvodová rychlost  $V_o$  by měla být minimálně stejně velká, jako je rychlost výroby nanovláken  $V_v$ , aby docházelo k navíjení. Pokud by byla obvodová rychlost  $V_o$  příliš vysoká, docházelo by k trhání nanovláknenné vlečky. Experimentálně bylo zjištěno, že by obvodová rychlost neměla přesahovat dvojnásobek rychlosti výroby nanovláken.



Obrázek 30.: Nanášení nanovláken při balonování [vlastní]

Pokud by tedy rychlost výroby nanovláken byla např.:  $V_v = 30$  m/min, tak by se obvodová rychlost  $V_o$  měla pohybovat v rozmezí  $V_{o_{min}} = 30$  m/min až  $V_{o_{max}} = 60$  m/min. Z toho vyplývá, že je dáno rozmezí poloměru balonu, který může vzniknout pro úspěšné nanášení nanovláken.

$V_v$	[m/min]	rychlost výroby nanovláken
$V_{o_{min}}$	[m/min]	minimální obvodová rychlost
$V_{o_{max}}$	[m/min]	maximální obvodová rychlost
$r_{b_{min}}$	[m]	minimální poloměr balonu
$r_{b_{max}}$	[m]	maximální poloměr balonu
$e$	[mm]	vyosení příze
$n_p$	[ot/min]	otáčky příze

Toto rozmezí se vypočte dle následujícího vztahu a pomocí zvolených otáček příze  $n_p$ :

$$r_{b_{min}} = \frac{V_{o_{min}}}{2 \cdot \pi \cdot n_p}$$

$$r_{b_{max}} = \frac{V_{o_{max}}}{2 \cdot \pi \cdot n_p}$$

Pokud by byly zvoleny otáčky příze např.:  $n_p = 3000$  ot/min, měly by maximální a minimální poloměry balonu následující hodnoty:

$$r_{b_{min}} = \frac{30}{2 \cdot \pi \cdot 3000} = 0,00159 \text{ m}$$

$$r_{b_{max}} = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 3000} = 0,00318 \text{ m}$$

Z toho vyplývá nutnost mít možnost ovlivnit tvar balonu, který je dán především délkou upnutí, jemností příze, nastaveným předpětím a vyosením příze mimo osu rotace  $e$ . Délka upnutí by byla obtížně modifikovatelná z konstrukčních důvodů a změna jemnosti příze, která má vliv na odstředivou sílu, také není možná, jelikož je zvolena zákazníkem. Proto bude tvar balonu měněn kombinací vyosení, změnou otáček a předpětí příze.

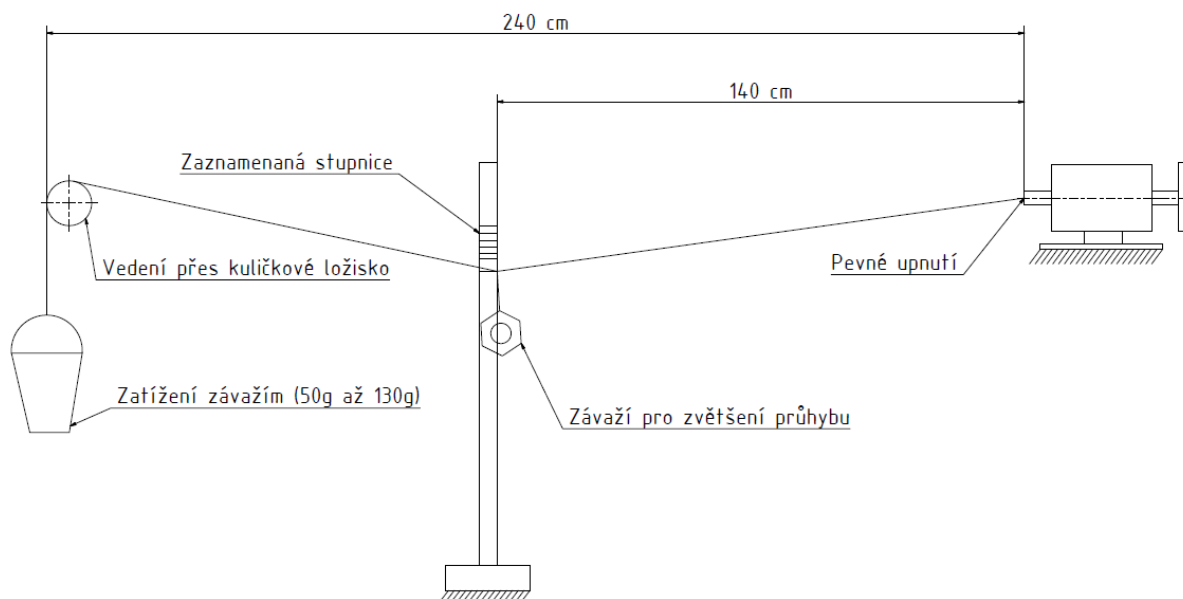
Hodnoty těchto parametrů budou muset být nastaveny na základě experimentů a empirických zkušeností, protože výpočet by byl velmi komplikovaný např. z důvodu působení odporu vzduchu proti pohybu příze.

#### **4.1.2 Ověření balonování experimentem**

Pro ověření efektu balonování byl sestaven jednoduchý experiment, jehož cílem bylo zjistit, jaké parametry budou muset splňovat následně navrhované konstrukční uzly. Jedná se o parametry ovlivňující tvar balonu a tím úspěšnost nanášení nanovláken.

Pro experiment byla zvolena příze o maximální hodnotě jemnosti 200 tex, na kterou je navrhováno zařízení. Tato hodnota byla zvolena, aby byly ověřeny zamýšlené hodnoty maximálního předpětí. Pro příze s menší jemností bude klesat potřebné předpětí z důvodu menší odstředivé síly.

Nejprve bylo nutné vytvořit převodní stupnici mezi předpětím a průhybem, pomocí které bude následně nastaveno předpětí při upnutí do rotačních zařízení. Nastavení předpětí při upnutí příze v rotačních zařízeních by bylo komplikované a byl by zde velký vliv pasivních odporů a nebyla by dosažena dostatečná přesnost. Stupnice byla vytvořena na kolmo stojícím hliníkovém profilu v blízkosti příze. V tomto místě bylo na přízi zavěšeno jednoduché závaží pro zvětšení průhybu a vytvoření stupnice s větším rozdílem mezi jednotlivými kroky. Následně byla na jeden konec příze, vedený přes ložisko, zavěšována závaží a byly zaznamenávány hodnoty pro vytvoření stupnice. Na stupnici jsou zaneseny hodnoty předpětí od 50 do 130 cN, které odpovídají zavěšeným 50 až 130 gramům na konci příze.



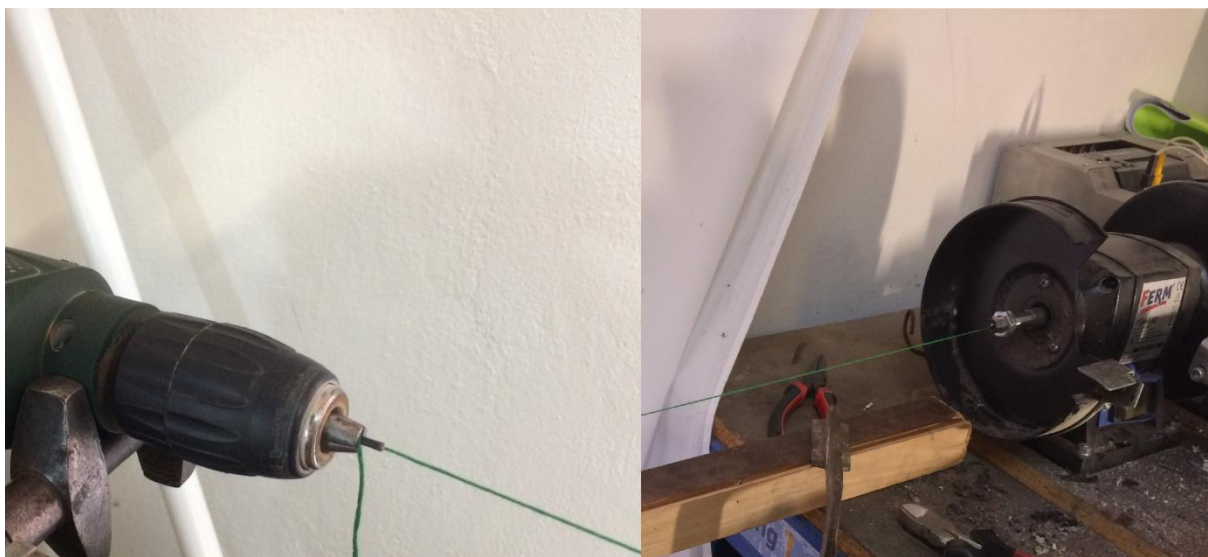
Obrázek 31.: Vytvoření stupnice předpětí [vlastní]



Obrázek 32.: Použitá závaží a vytvořená stupnice [vlastní]

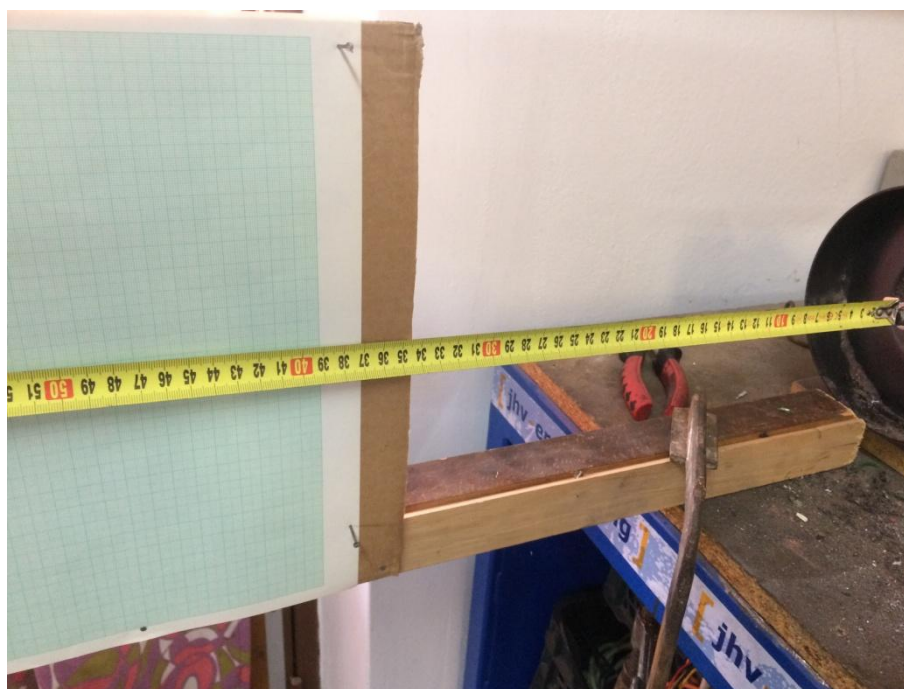
Zvolené otáčky měly hodnotu 3000 ot/min, aby mohly být použity běžné rotační stroje. Pro experiment byla použita dílenská stolní bruska a ruční vrtačka, mezi které byla upnuta příze a jejich jmenovité otáčky při napájení frekvencí 50Hz jsou požadovaných 3000 ot/min. Příze byla ve stolní brusce upnuta rozepršením v středícím důlku pomocí pružného válečku. Středící důlek měl průměr 2 mm a příze tedy byla vyosena excentricitou 1 mm. Stejně hodnoty bylo dosaženo upnutím ve sklíčidle vrtačky, kde byla příze upnuta mezi jedním z tří segmentů a pevným válečkem o průměru 2 mm.



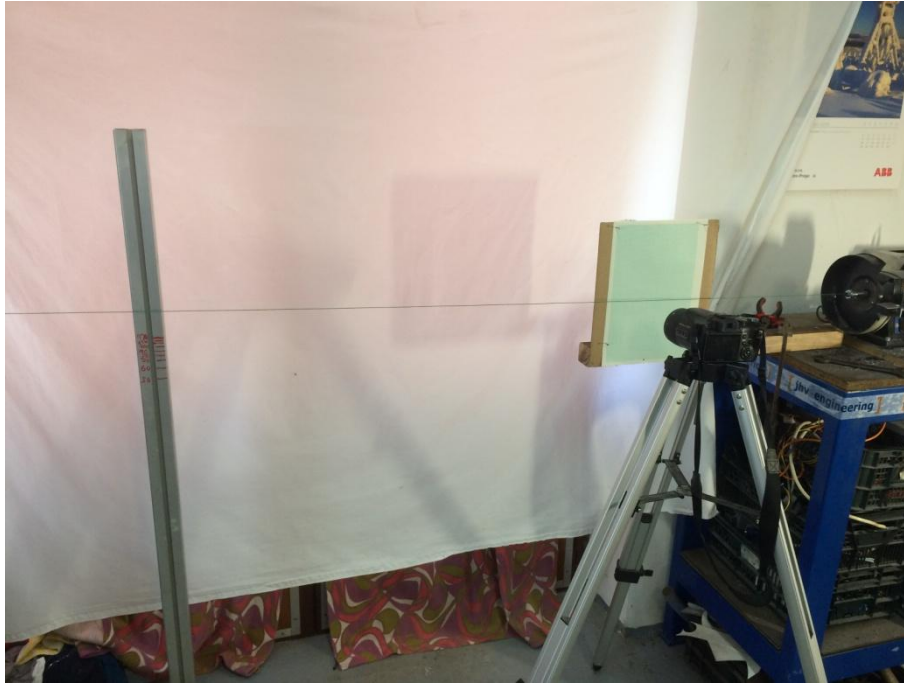


**Obrázek 33.: Upnutí příze [vlastní]**

Po upnutí příze o délce 240 cm a nastavení předpětí na 100 cN (Obrázek 32) byla připevněna deska s milimetrovým papírem do vzdálenosti 50 cm od pravého konce upnutí. Tato vzdálenost byla zvolena tak, aby mohlo dojít k měření v místě zamýšleného umístění elektrody. V tomto místě byl umístěn fotoaparát Casio Exilim F1, který byl nastaven na dlouhý expoziční čas. Díky tomuto nastavení je možno vyfotit vytvořenou obálku při balonování proti milimetrovému papíru a odečíst průměr rotujícího balonu.

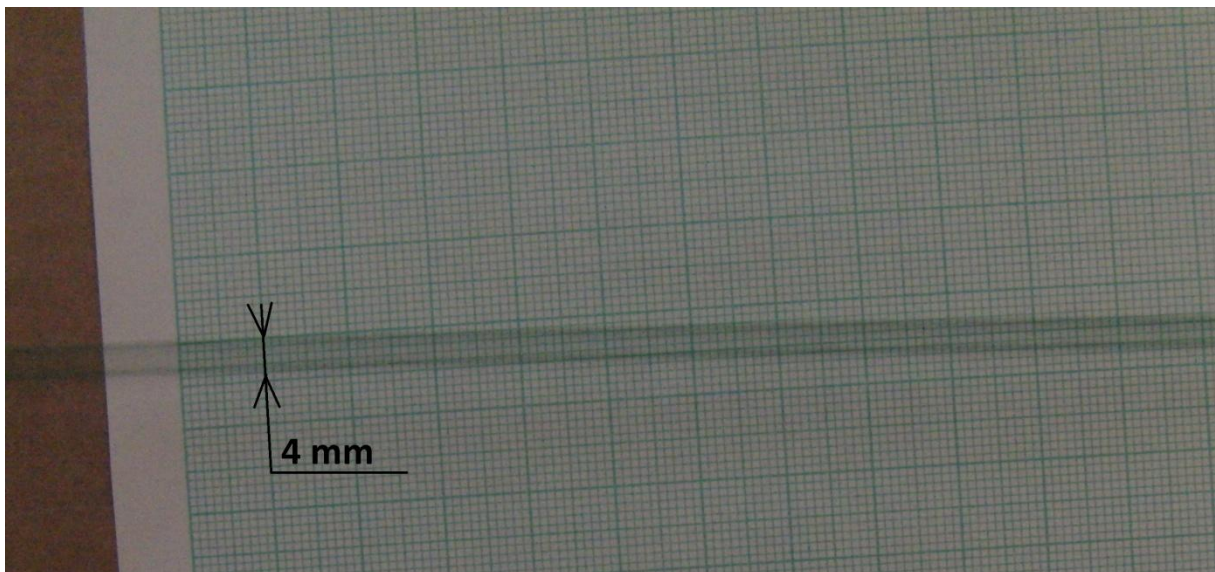


**Obrázek 34.: Umístění milimetrového papíru [vlastní]**



Obrázek 35.: Umístění fotoaparátu [vlastní]

Po veškeré přípravě byla spuštěna obě zařízení a při ustálení byly vyfoceny snímky balonování. Pro dané otáčky by měl být poloměr balonu  $r_b$  mezi hodnotami 1,59 až 3,18 mm. Průměr balonu by tedy měl být mezi 3,18 mm a 6,36 mm. Na následujícím obrázku je vidět, že příze vytváří balon v daném rozmezí a nanášení nanovláken by mělo probíhat bez trhání vlečky. Provedený experiment poskytl informace o potřebných parametrech jednotlivých konstrukčních uzlů.



Obrázek 36.: Průměr balonu při rotaci [vlastní]

## 4.2 Konstrukce rotace a vyosení příze

Vzhledem k potřebě vysokých otáček příze i přes efekt balonování je nutné zvolit vysokootáčkový elektromotor. Na tento pohon nejsou kladeny vysoké nároky na kroucí moment, jelikož motor pouze uvádí přízi do rotace. Dále by měl být zvolen synchronní přenos na rotující element, aby otáčky tohoto elementu a příze odpovídaly otáčkám motoru a nedocházelo ke skluzu. Návrh prvku zajišťující vyosení příze by měl mít dostatečný rozsah volby, aby bylo možné měnit tvar balonu.

### 4.2.1 Volba pohonu rotace

Základním parametrem, který musí splňovat pohon, je schopnost dosahovat vysokých otáček a z tohoto důvodu byl zvolen servomotor značky Festo s označením EMME-AS, který má jmenovité otáčky 9000 ot/min. Tato hodnota by měla poskytovat dostatečné rozmezí pro odladění tvaru balonu a dále nebude nutné zpřevodování do rychla.

Důležitým parametrem uvedeným v katalogu je hodnota maximálního radiálního zatížení hřídele při jmenovitých otáčkách. Tato hodnota je 650 N a z tohoto důvodu je nutné zvolit pro přenos otáček systém, který nebude hřídel zatěžovat nad tuto hodnotu.



Obrázek 37.: Servomotor EMME-AS [16]

### 4.2.2 Volba způsobu přenášení otáček

Jako prvek, kterým budou přeneseny otáčky na přízi, byl zvolen převod ozubeným řemenem. Tento způsob byl zvolen z důvodu široké nabídky řemenic a řemenů, nízké ceny a jednoduché modifikovatelnosti v případě nutnosti změnit zpřevodování, které bude v tomto případě 1:1. Další výhodou je přenos na základě tvarové vazby a tudíž použití minimálního napětí řemene. Díky tomu nebudou přetěžována ložiska a bude možné zvolit kompaktnější rozměry, než by

tomu bylo v případě použití např. plochého řemene, který vyžaduje větší napnutí. Tvarová vazba zároveň zajistí přenos otáček bez skluzu.

Jako dodavatele převodu ozubeným řemenem byla zvolena firma TYMA, která má širokou škálu rozměrů. Typ řemenice byl vybrán HTD 40-05M-15 6F. Řemenice má 40 zubů s roztečí 5 mm, šířku řemene 15 mm a předvrtanou díru o průměru 8 mm. Na servomotoru je použita hřídel s průměrem 19 mm a proto bude nutné upravovat průměr. Druhá řemenice stejného typu bude upravena pro umístění ložiska a prvku, který zajistí vyosení příze.



Obrázek 38.: Řemenice TYMA HTD [17]

### 4.2.3 Konstrukce vyosení

Vyosení příze bude zajištěno nerezovým kroužkem, který bude obsahovat vyvrtané otvory v různých vzdálenostech od osy otáčení. Vzdálenosti jsou od 1 do 4 mm a hodnota vyosení je vygravírována pro jednodušší použití. Nerezový kroužek bude zalisován do řemenice a pojištěn pojistnými kroužky.



Obrázek 39.: Nerezový kroužek pro vyosení příze [vlastní]

#### 4.2.4 Sestava rotace

Zde je znázorněn celkový pohled na sestavu zajišťující rotaci příze. Jako pohon je využit vybraný elektromotor, který je připevněn na kotvící desku. Skrz kotvící desku prochází hřídel, na kterou je připevněna upravená řemenice. Dále je ke kotvící desce připevněna nerezová příruba, na které bude uloženo ložisko a druhá upravená řemenice. Příruba je dutá, aby mohla procházet příze ke kroužku zajišťující vyosení. Sestava bude připevněna k rámu přes kotvící desku.



Obrázek 40.: Celkový pohled na sestavu rotace [vlastní]



Obrázek 41.: Příruba [vlastní]

## 4.2.5 Výpočet napnutí řemenů

Pro výpočet potřebné napínací síly řemenového převodu byl použit program výrobce ContiTech Suite 7.4. Do programu byly zadány parametry vybraných komponent a výsledná napínací síla má hodnotu 159,6 N. S touto silou bude dále počítáno z důvodu ověření tuhosti příruby.

**Continental CONTITECH Transmission Designer Verze 7.4 - remen.tdd**

**Řemen**

Druh řemenu	Ozubený řemen	Profil řemenu	HTD
Typ řemenu	CONTI SYNCHROBELT	Druh řemenu	SM

**Geometrie**

Malá řemenice	Účinný průměr	dwk	63,66	mm	Velká řemenice	Účinný průměr	dwg	63,66	mm
	Počet zubů	zk	40			Počet zubů	zg	40	
	Otáčky	nk	3000,00	rpm		Otáčky	ng	3000,00	rpm
	Převodový poměr	i	1,00			Požadovaná délka řemenu	Lwgef		mm
	Osová vzdálenost	a	150,00	mm		Délka řemenu	Lw	500,00	mm

**Výkon**

Malá řemenice	Kroutilý moment	Mk	0,5	Nm	Velká řemenice	Kroutilý moment	Mg	0,50	Nm
	Přenášený výkon	P	0,157	kW		Požadovaná šířka řemenu	bgfet	15	mm
	Požadovaný provozní součinitel	C0gef	1,2	lápověd		Provozní podmínky		střední zatížení	

**Výsledek**

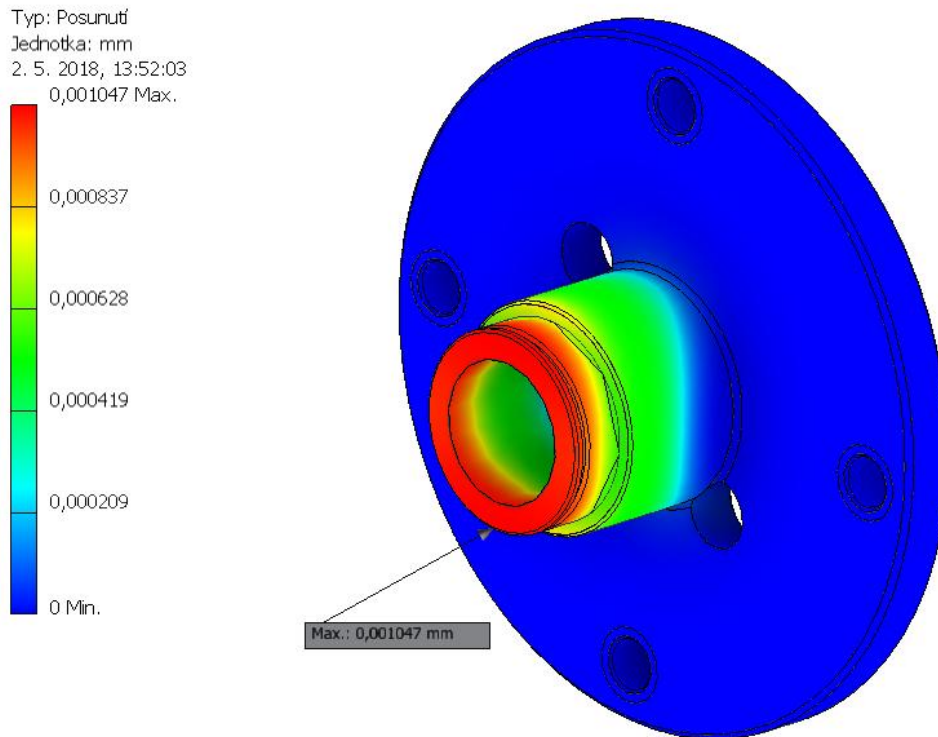
Vypočtená šířka řemenu	berr	3,18	mm	Obvodová síla	Fu	15,71	N
Zvolená šířka řemenu	baus	15,00	mm	Celková předepínací síla	Fv	159,60	N
Požadovaný provozní součinitel	C0er	12,59		Statická síla ve větvi	Fstat	79,80	N
Hodnota výkonu	Pr	1,98	kW	Vlastní frekvence řemenu	f	131,85	Hz

**CONTI HTD 500 - 5M - 15 - SYNCHROBELT**

Obrázek 42.: Výpočet napnutí řemene [vlastní]

## 4.2.6 Kontrola tuhosti příruby

Příruba bude namáhána silou potřebnou pro napnutí řemene. Z tohoto důvodu byla provedena jednoduchá kontrola tuhosti příruby. Jako okrajovou podmínku uložení příruby byly zvoleny plochy mezi šrouby a kotvící deskou. V těchto místech byla zvolena pevná vazba a jako působiště síly byla zvolena plocha, na které je uloženo ložisko. Zatěžující síla měla hodnotu 159,6 N a její směr byl radiální.

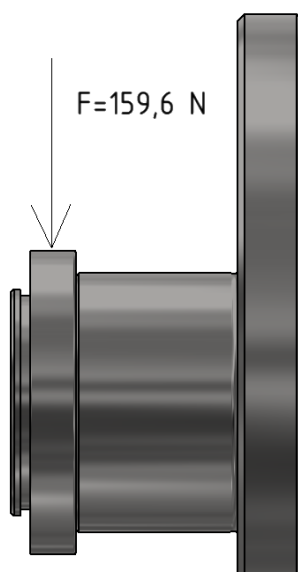


Obrázek 43.: Kontrola tuhosti příruby [vlastní]

Z vypočtených výsledků posunutí vyplývá, že příruba bude mít dostatečnou tuhost. Maximální hodnota posunutí činí 0,001 mm.

## 4.2.7 Kontrola ložiska

V konstrukci je použito ložisko SKF 61807, které je namáháno stejnou radiální silou jako příruba. Hodnota této síly je tedy 159,6 N. Kontrola životnosti byla provedena pomocí kalkulátoru výrobce. Hodnota provozních otáček je 9000 ot/min. Životnost ložiska je 37500 hodin a tato hodnota je dostatečná pro experimentální provoz.



Obrázek 44.: Zatížení ložiska [vlastní]

Result

<b>L<sub>10mh</sub></b> SKF rating life	501300 hour
<b>a<sub>SKF</sub></b> SKF life modification factor a <sub>SKF</sub>	13.4
<b>κ</b> Viscosity ratio	331.8
<b>P</b> Equivalent dynamic bearing load	0.16 kN
<b>η<sub>c</sub></b> Factor for contamination level	0.16
<b>v<sub>1</sub></b> Required kinematic viscosity for κ=1	6.6 mm <sup>2</sup> /s
<b>L<sub>10h</sub></b> Basic rating life	37500 hour
<b>C/P</b> Load ratio	27.2

Obrázek 45.: Výsledky kontroly životnosti ložiska [vlastní]

### 4.3 Konstrukce předpětí

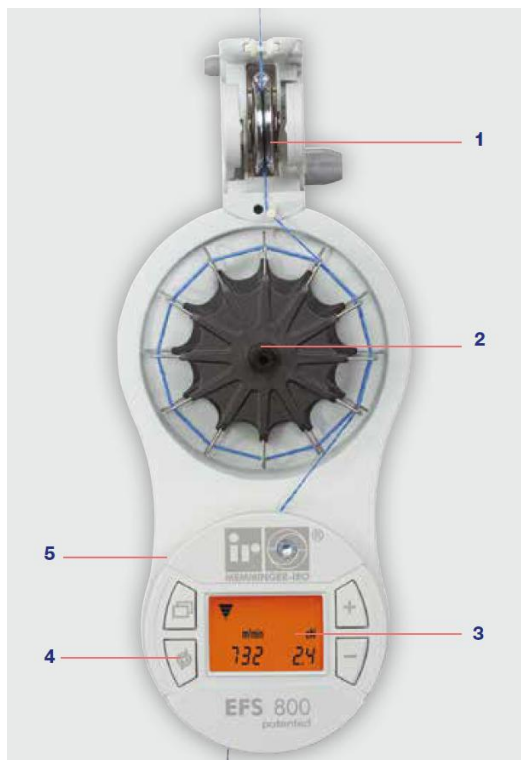
Jedním ze základních parametrů, který má vliv na tvar vzniknutého balonu, je předpětí rotující příze. Jedná se o parametr, který lze spolu s otáčkami a vyosením příze měnit a tím zajistit správný průběh nanášení nanovláken. Síla předpětí a odstředivá síla tvoří podstatnou část sil působících na přízi a je výhodné tuto sílu řídit.

Jelikož se jedná o kontinuální proces procházení příze zvlákňovacím prostorem, nelze použít jednoduché mechanické principy na vytvoření potřebné síly. Tyto mechanismy by byly



použitelné pouze při stalém upnutí příze. Princip proměnlivého tření mezi přízí a válcovým tělesem, kde by bylo možno měnit úhel opásání, by splňoval podmínku kontinuálního průchodu příze. Toto řešení by ovšem bylo obtížně nastavitelné v požadované přesnosti.

Pro zajištění potřebného předpětí v dostatečné přesnosti bylo do konstrukce zvoleno zařízení od firmy Memminger IRO. Tato firma se zabývá výrobou zařízení pro textilní průmysl a jedním z výrobků je elektronický podavač příze.



Obrázek 46.: Elektronický podavač příze EFS 800 [11]

Zařízení se skládá z pěti základních prvků. Příze vstupuje skrz oko, aby se zabránilo tvorbě smyček a prochází skrz dvojitou magnetickou brzdu (1). Tato brzda zajišťuje požadované konstantní předpětí. Následuje rotující kolo připojené na elektromotor (2). Na kole je navinuto několik smyček a tento prvek je zde pro hladký průběh odvíjení. Zařízení obsahuje display (3) pro zobrazení nastavené hodnoty předpětí a rychlosti odvíjení příze. Použitím tlačítka automatického navinutí (4) dojde při zavádění příze k automatickému vytvoření osmi smyček na rotujícím kole (2). Senzor pro snímání předpětí (5) slouží k vytvoření důležité zpětné vazby pro regulaci a vyhlazení napět'ových špiček.

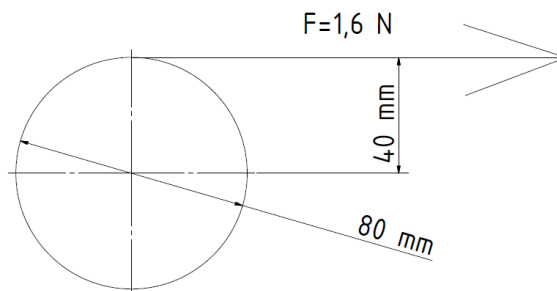
První základní parametr, který je důležitý pro úspěšné použití, je maximální rychlost průchodu příze. Hodnota tohoto parametru je u verze výrobku EFS 804 1500m/min. Druhým a podstatnějším parametrem je hodnota maximálního předpětí, která činí 160 cN. Oba tyto

parametry by měly být dostatečné a z tohoto důvodu je toto zařízení zvoleno do navrhované konstrukce. Zvolením tohoto zařízení byl splněn požadavek vyplývající z QFD na automatickou regulaci napětí přize.

## 4.4 Konstrukce uchycení filtru a navíjení

### 4.4.1 Výběr elektromotoru

Výběr elektromotoru je dán hodnotou maximálního možného předpětí, které je 160 cN a maximálního možného průměru filtru. Tato hodnota je dle QFD 80 mm a pomocí těchto parametrů je určen potřebný krouticí moment  $M_n$ .



Obrázek 47.: Silové působení při navíjení [vlastní]

$$M_n = 1,6 \cdot 40 = 64 \text{ Nmm}$$

$M_n$  [Nmm] potřebný moment pro navíjení

Dle tohoto momentu je zvolen servomotor HIWIN FRLS 50W, který má jmenovitý moment 160 Nmm a jmenovité otáčky 3000 ot/min. Tyto hodnoty by měly poskytovat dostatečnou rezervu při provozu.

Table 5.3 Technical data FRLS 50 W			
Motor data	Symbol	Unit	FRLS052 __A4__
Nominal voltage	V	VAC	220
Nominal power	W	W	50
Nominal torque	$T_c$	Nm	0.16
Nominal current	$I_c$	$A_{eff}$	0.9
Peak torque for 1 sec.	$T_p$	Nm	0.48
Peak current for 1 sec.	$I_p$	$A_{eff}$	2.7
Nominal speed	$n_N$	rpm	3,000



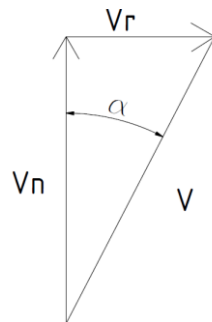
Obrázek 48.: Základní parametry motoru FRLS 50W [14]

#### 4.4.2 Rychlostní poměry při navíjení

Rychlost průchodu příze zařízením spolu se zvoleným úhlem navíjení určuje jednotlivé složky rychlostí. První složka je obvodová rychlost navíjení příze a druhá je rychlost rozvádění příze. Tyto složky jsou dány výrazy:

$$V_n = V \cdot \cos \alpha$$

$$V_r = V \cdot \sin \alpha$$



Obrázek 49.: Rozklad rychlostí [vlastní]

$V_n$	[m/s]	rychlost navíjení
$V_r$	[m/s]	rychlost rozvádění
$V$	[m/s]	rychlost průchodu příze zařízením

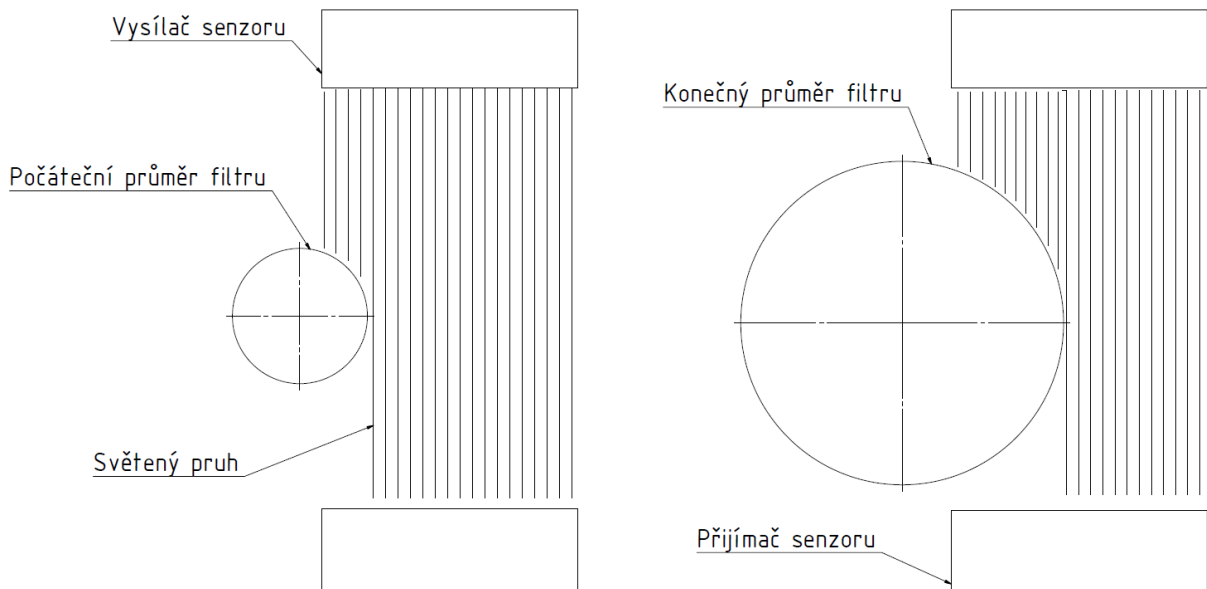
Otáčky navíjení tedy budou dány uživatelem zadané rychlosti průchodu příze  $V$  a zadaným úhlem navíjení  $\alpha$ . Dále budou otáčky průběžně upravovány na základě měření poloměru navíjení  $r$  pomocí optického senzoru.

$$n = \frac{V \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$n$	[ot/s]	otáčky navíjení
$r$	[m]	poloměr navíjení

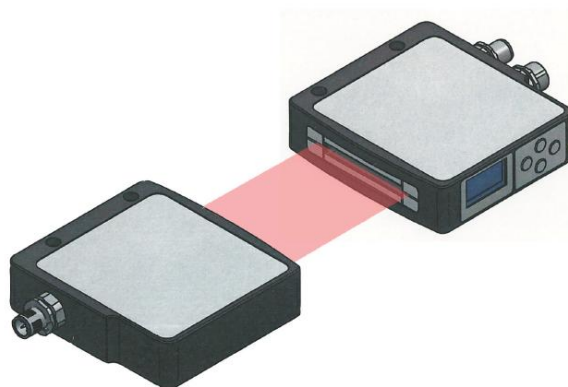
### 4.4.3 Volba optického senzoru

Pro zachování konstantní rychlosti průchodu příze zařízením v průběhu navíjení je nutné upravovat otáčky z důvodu postupně se měnícího průměru filtru. Toho bude dosaženo pomocí optického senzoru snímajícího narůstající průměr filtru. Dále bude tato snímaná hodnota využita pro úpravu parametrů rozvádění.



Obrázek 50.: Snímání průměru optickým senzorem [vlastní]

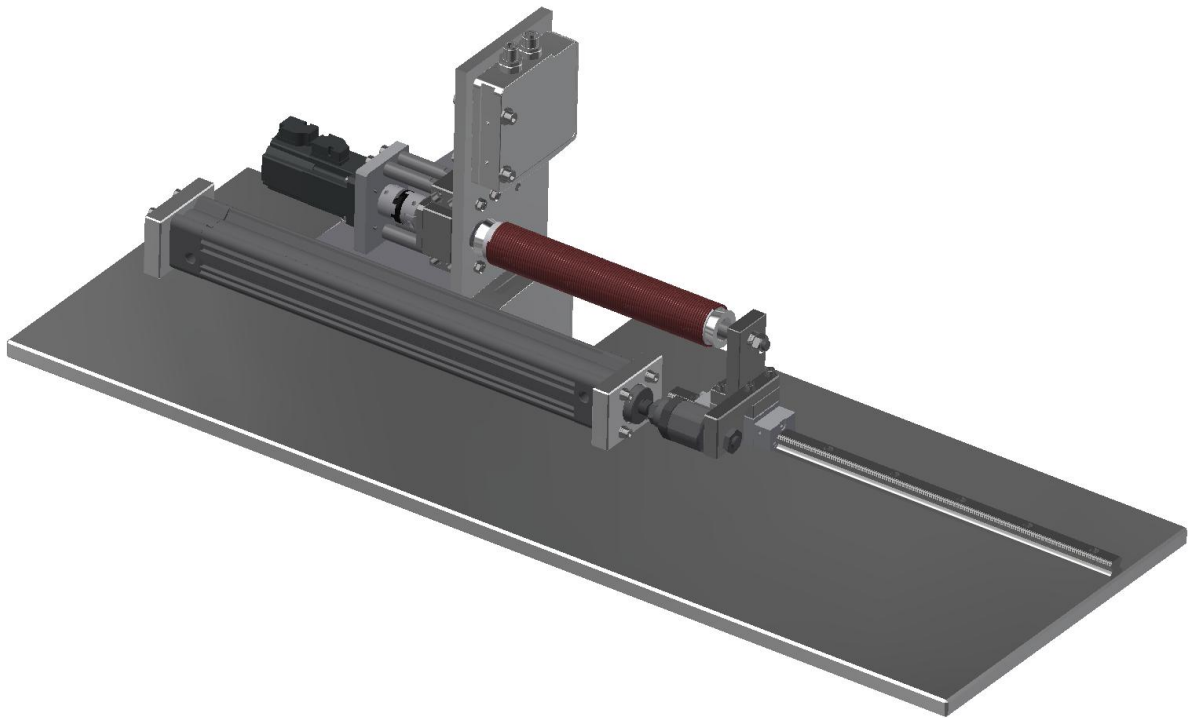
Pro snímání průměru byl zvolen optoelektronický snímač BALLUFF BLA 50A-001-S115, který funguje na principu jednocestné optické závory. Šířka světelného pruhu je 48,6 mm a jelikož bude snímána pouze polovina filtru, je tato hodnota dostatečná. Montážní vzdálenost vysílače a přijímače může být až 2 m, nicméně se zvětšující vzdáleností je obtížnější seřízení vyosení obou částí senzoru.



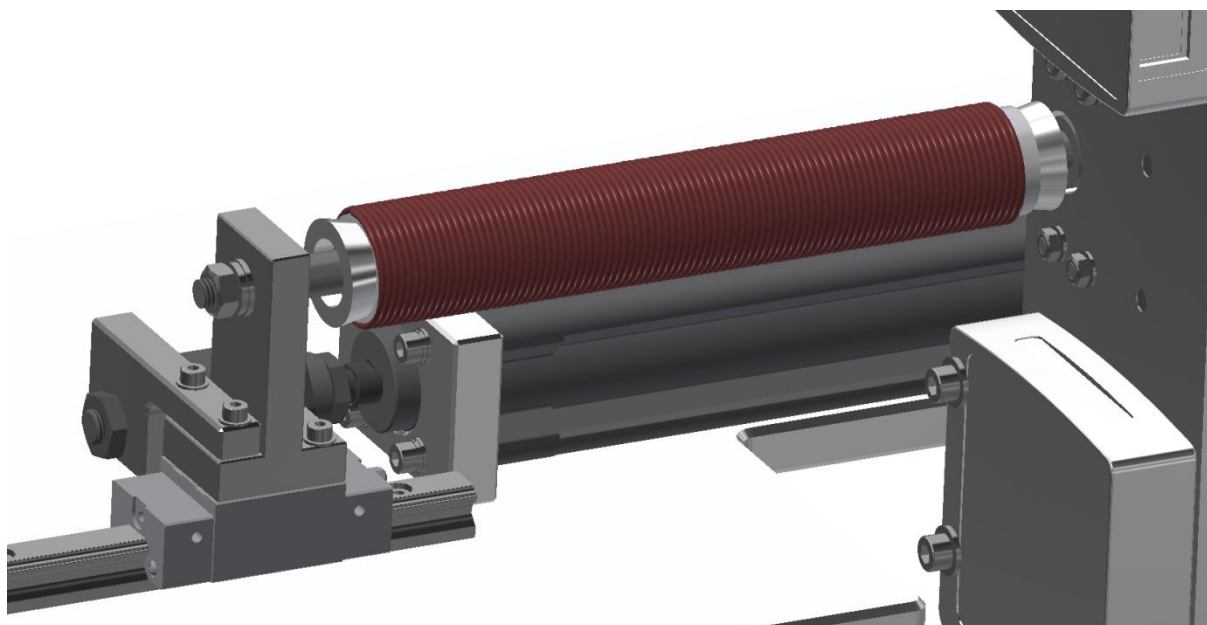
Obrázek 51.: Senzor BALLUFF BLA 50A-001-S115 [18]

#### 4.4.4 Sestava navíjení

Jednotlivé prvky sestavy navíjení jsou připevněny k základové desce, která bude připevněna k rámu. Servomotor FRLS je přes hřídelovou spojku Oldham spojen s hřídelí, na které je umístěn kužel pro připevnění filtru. Hřídel je uložena v ložiskovém domku. Filtr bude na druhé straně přidržován přes kužel pomocí pneuválce od firmy Festo, který zajistí potřebnou sílu. Sílu je možné regulovat pomocí tlakového škrtkového ventilu a pneuválec bude řízen ručně ovládaným ventilem. Sestava přidržného kužele je uložena na lineárním vedení HIWIN HGH 15 CA, které má dostatečnou délku pro upnutí filtru 400 mm, což je hodnota vycházející z QFD. Pneuválec je připojen pomocí kloubové spojky pro možné vyrovnání výrobních a montážních nepřesností.



Obrázek 52.: Sestava navíjení [vlastní]



Obrázek 53.: Upnutí filtru [vlastní]

## 4.5 Konstrukce rozvádění

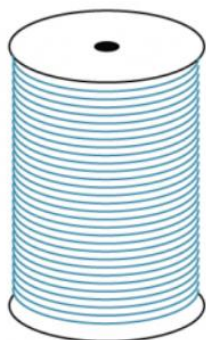
Při navíjení příze na dutinku filtru dochází ke kombinaci dvou pohybů. Prvním pohybem je rotace dutinky kolem středové osy. Tento pohyb bude v tomto případě proměnlivý, vzhledem k postupně se zvětšujícímu průměru filtru. Druhým pohybem je lineární vratný pohyb rozváděcího zařízení. Cílem bude navrhnout elektronicky řízené proměnlivé rozvádění, aby mohly být testovány různé typy a kombinace vinutí.

### 4.5.1 Typy vinutí

Typy vinutí se dělí na dva základní druhy a jejich vznik je dán různým poměrem mezi obvodovou rychlostí navíjení a rychlostí lineárního pohybu při rozvádění.

#### Rovnoběžné

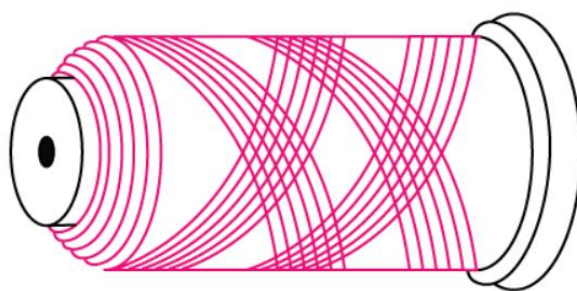
Při tomto typu navíjení je příze navinuta ve tvaru šroubovice s malým úhlem stoupání. Tento typ návínu vzniká, když je lineární pohyb při rozvádění oproti otáčkám významně pomalejší. Při rovnoběžném navinutí nedochází k vzájemnému provázání příze a návín není tak stabilní, jako v případě křížového vinutí a na bocích návínu může dojít k snadnému uvolnění.



Obrázek 54.: Rovnoběžné vinutí [12]

### **Křížové**

Křížové vinutí se dělí na několik podskupin a hlavním znakem u tohoto druhu je vzájemné provázání příze při navíjení. Díky tomu je návín stabilnější, ale může docházet z vytvoření řídkší vrstvy, pokud není použito tzv. dokonale přesné křížové vinutí (DPKV).



Obrázek 55.: Křížové vinutí [12]

### **4.5.2 Volba lineárního pohonu**

Při volbě lineárního pohonu se vychází z požadavku na délku filtru v rozmezí 200 až 400 mm vzniklého v QFD. Vybraný pohon by tedy měl zajistit rozvádění příze minimálně v tomto rozsahu, nicméně pro vytvoření rezervy je zvolena normalizovaná délka dráhy pohonu 510 mm.

Jako dodavatele pohonu je vybrána firma HIWIN, která dodává zakrytované lineární osy i servomotory. Typ lineární osy je zvolen KK6010P0600. Osa je založena na převodu rotačního pohybu na lineární pomocí kuličkového šroubu. Vnitřní mechanismus je u tohoto provedení zakryt plechem. Toto řešení je dostatečně přesné a umožňuje jednoduché připevnění vodícího prvku na vozík.



Obrázek 56.: Lineární osa HIWIN s krycím plechem [13]

Jako pohon je zvolen servomotor od stejné firmy s označením FRLS 100W, který je připojen přes redukční desku k lineární ose pomocí hřídelové spojky. Motor má výkon 100W a hřídelová spojka značky Oldham je k hřídelím připevněna pomocí svěrných spojů.



Obrázek 57.: Servomotor FRLS [14]



Obrázek 58.: Hřídelové spojky Oldham [15]

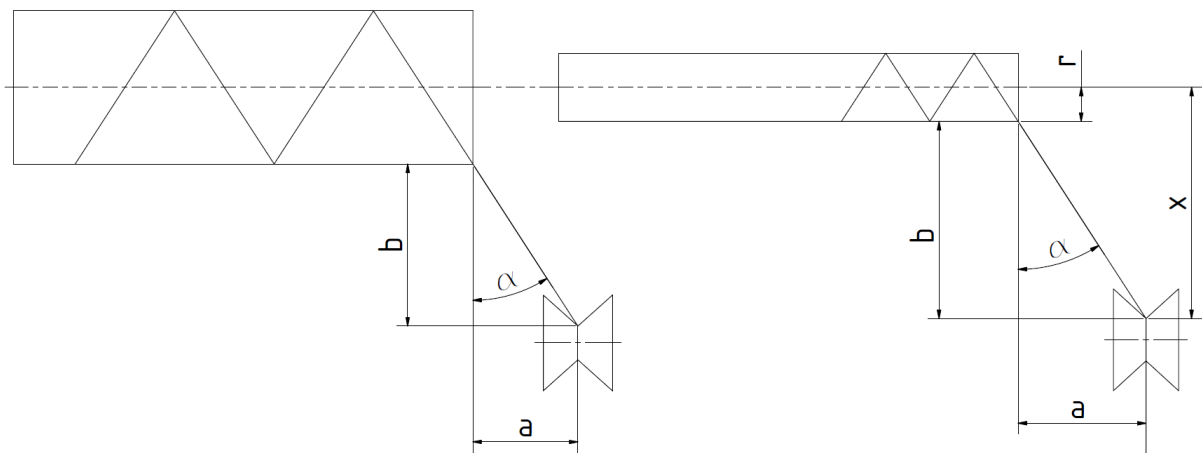


Kombinace těchto prvků má dle katalogu výrobce tyto parametry, které by měly být dostatečné v navrhovaném zařízení:

- Maximální rychlost posuvu 670 mm/s
- Maximální zrychlení posuvu 15 mm/s<sup>2</sup>
- Přesnost pozice 0,025 mm
- Rozsah pohybu 510 mm

### 4.5.3 Úprava rozsahu pohybu dle aktuálního průměru návinu

Při navíjení na dutinu filtru je vzhledem k odsazení rozváděcího elementu od povrchu válce, na který je navíjeno, potřeba částečného přesahu dráhy mimo filtr. Tento přesah je dále ovlivněn zadaným úhlem, ve kterém jsou navíjeny jednotlivé oviny a rostoucím průměrem filtru v průběhu navíjení.



Obrázek 59.: Potřebný přesah při navíjení [vlastní]

Z obrázku je patrné, že velikost přesahu dráhy  $a$  rozváděcí kladky je:

$$a = b \cdot \tan \alpha$$

a	[mm]	přesah
b	[mm]	vzdálenost rozváděcího bodu od místa navíjení
$\alpha$	[°]	úhel navíjení

Velikost přesahu bude automaticky dopočítávána a upravena pomocí zadaného úhlu  $\alpha$  a vzdálenosti  $b$ , která bude dopočítána na základě konstrukční vzdálenosti  $x$  a zjištěného poloměru navíjení  $r$  pomocí optického senzoru.

$$b = x - r$$

x	[mm]	konstrukční vzdálenost
r	[mm]	poloměr navíjení

#### 4.5.4 Sestava rozvádění

Zde je znázorněna sestava rozvádění, která je složena z vybraných prvků. Na vozíku lineární osy je připevněna konzola s kladkou, která je uložena v kuličkovém ložisku. Přes kladku bude vedena příze a bude rozváděna po dutině filtru. Sestava bude uložena na stejné základové desce, jako sestava navíjení.



Obrázek 60.: Sestava rozvádění příze [vlastní]

## 4.6 Konstrukce sušící komory

### 4.6.1 Volba topného zařízení

Při volbě topného zařízení byl určujícím parametrem teplotní rozsah na výstupu a dále možnost regulace objemového průtoku ohřívaného vzduchu. Tyto parametry budou regulovány na základě rychlosti průchodu příze zařízením a druhu použitého polymeru. Teplota nesmí přesáhnout teplotu tání polymeru, aby nedocházelo k natavování vláken.

Na základě těchto požadavků je zvoleno horkovzdušné dmychadlo HOTWIND SYSTEM od firmy Leister, které je možné řídit externě pomocí standardních řídicích signálů. Dmychadlo obsahuje integrovanou termosondu a digitální zobrazení aktuální a nastavené teploty. Hodnota maximální teploty je 650 °C a průtok vzduchu až 900 l/min.



Obrázek 61.: HOTWIND SYSTEM [19]

#### 4.6.2 Konstrukce vedení vzduchu

Vedení horkého vzduchu od dmyhadla k přízi je zajištěno pomocí standardních vzduchotechnických prvků. K dmyhadlu je připevněna redukce na jmenovitý průměr 200 mm, který je dále použit z důvodu snížení rychlosti proudění při zachování objemového průtoku. Za redukcí následuje pružná hliníková hadice Semiflex, kterou je vzduch přiveden k rozbočce s úhlem 45°. Tento úhel je zvolen z důvodu lepšího nasměrování vzduchu do axiálního směru. Boční vývod je zakrytován standardní krytkou, do které je vyvrtána díra pro průchod příze. Odvod vzduchu je konstruován obdobně a je vyveden do horní části zařízení, kde může být připojen na vzduchotechnické zařízení laboratoře.



Obrázek 62.:Sušicí komora s horkovzdušným dmychadlem [vlastní]

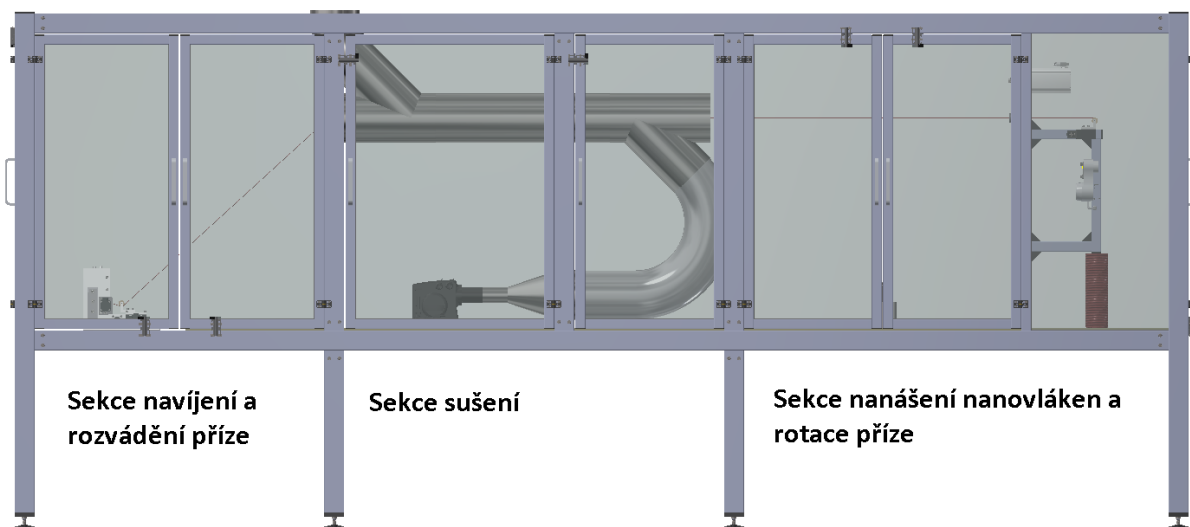
## 4.7 Rozmístění v rámu

Jednotlivé konstrukční uzly jsou ukotveny v rámu, který je složen z hliníkových profilů. V rámu je vytvořeno několik sekcí, které jsou od sebe odděleny průhlednými výplněmi. Spodní část sekcí je oddělena polypropylenovou deskou z důvodu dobré omyvatelnosti. Po obvodu jsou rozmístěny dveře pro zajištění přístupu k jednotlivým zařízením. V horní části je otvor pro připojení vzduchotechniky. Rám je navržen tak, aby splňoval požadované parametry vycházející z QFD. Výška zařízení je do 2 m a zástavbová plocha do 10 m<sup>2</sup>.

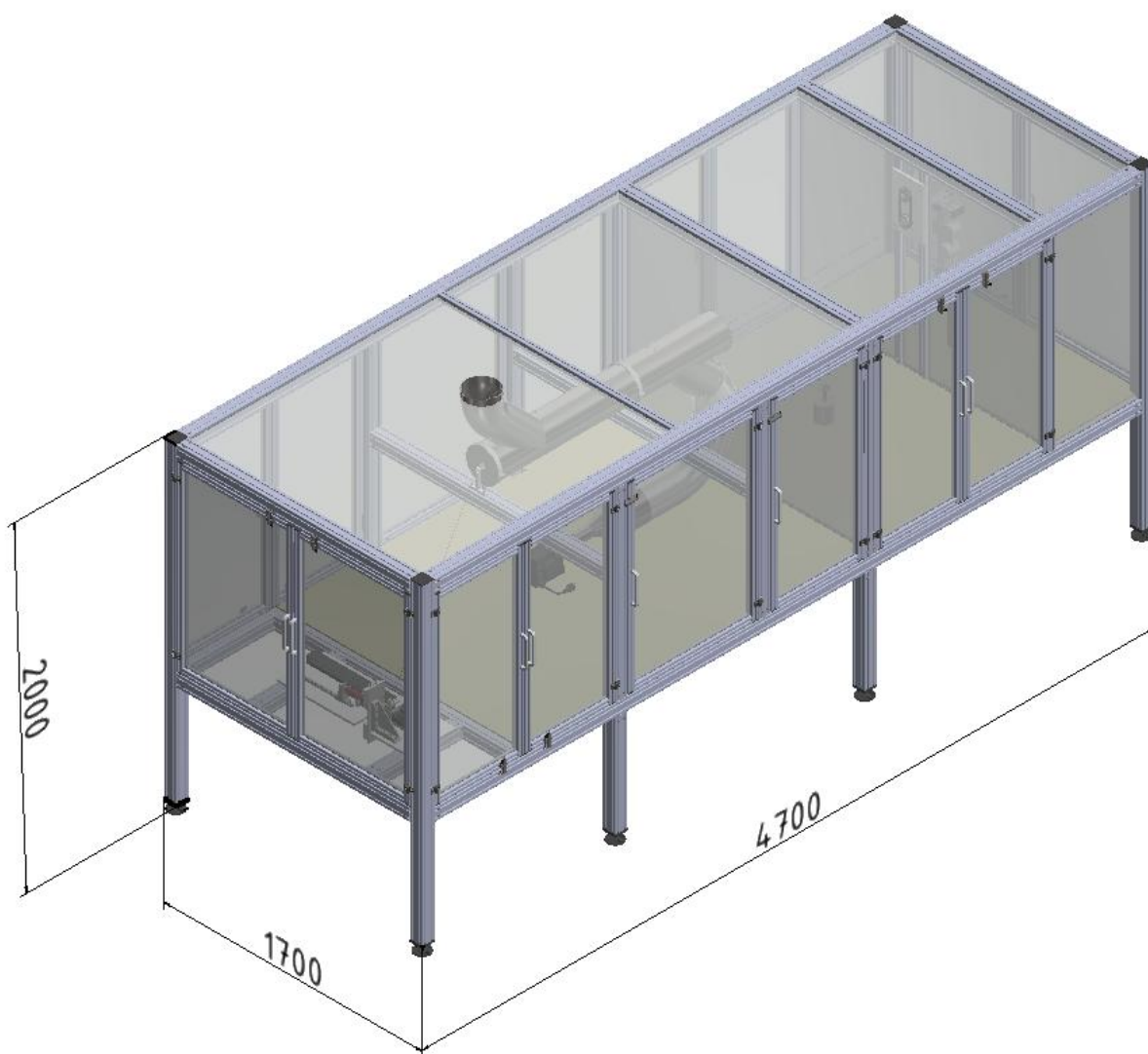


Obrázek 63.:Navržený rám [vlastní]

Jednotlivé navržené konstrukční uzly byly rozmístěny do jednotlivých sekcí, které na sebe navazují. V první části je odvíjena příze ze zásobní špulky a je zde zajištěno požadované předpětí příze a její rotace zvolenou excentricitou. Následuje proces nanášení nanovláken pomocí patentované kuželové elektrody. V další sekci zařízení jsou nanosená nanovlákná usušena v sušící komoře. Následuje mechanismus rozvádění příze a mechanismus zajišťující rotaci dutiny filtru.



Obrázek 64.: Celkový boční pohled [vlastní]



Obrázek 65.: Celkové rozměry [vlastní]

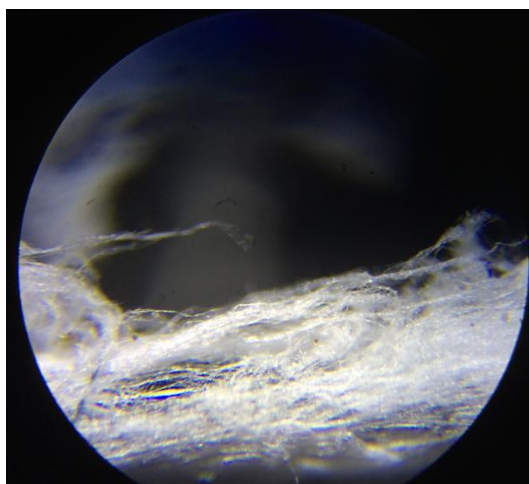
## 5 Zhodnocení inovace

V této kapitole bude zhodnocen rozpracovaný koncept vůči stávajícímu řešení. Pro ověření kvality nanášení nanovláken pomocí střídavého proudu a balonování je využit vzorek vyrobený pracovníky Katedry netkaných textilií a nanovláknenných materiálů Fakulty textilní. Vzorek byl získán na prototypovém zařízení pomocí kuželové elektrody.



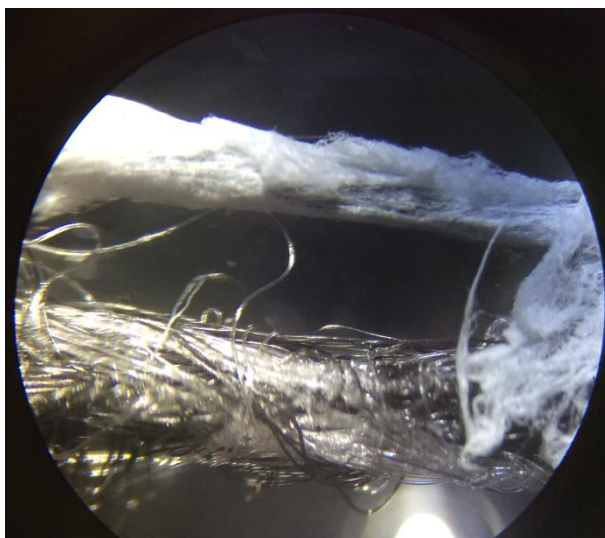
Obrázek 66.: Nanášení nanovláken střídavým napětím [vlastní]

Následně byla nanosená vrstva nanovláken zhodnocena pomocí zvětšení mikroskopem. Na následujícím obrázku je vidět, že vrstva nanovláken pokrývá téměř celý povrch příze. Snímek byl pořízen při 100-násobném zvětšení.



Obrázek 67.: Nanosená nanovláknna (bílá) na základové přízi (černá) [vlastní]

Na následujícím obrázku je vidět přímé srovnání množství nanosených nanovláken při použití stávajícího řešení (spodní část obrázku) a při použití střídavého napětí (horní část obrázku), které je navrženo pro inovované řešení. Zvětšení je opět 100-násobné a je vidět zvýšení produktivity v nanášení nanovláken.



**Obrázek 68.: Srovnání stávající kvality nanášení a navrhované technologie [vlastní]**

Na současném zařízení dochází k negativnímu efektu zanášení komponent umístěných ve zvlákňovacím prostoru. Důvodem je nekompaktnost vyráběných nanovláken a také jejich špatné nanášení na procházející přízi a následné přilnutí k blízkým komponentům umístěných v zařízení.

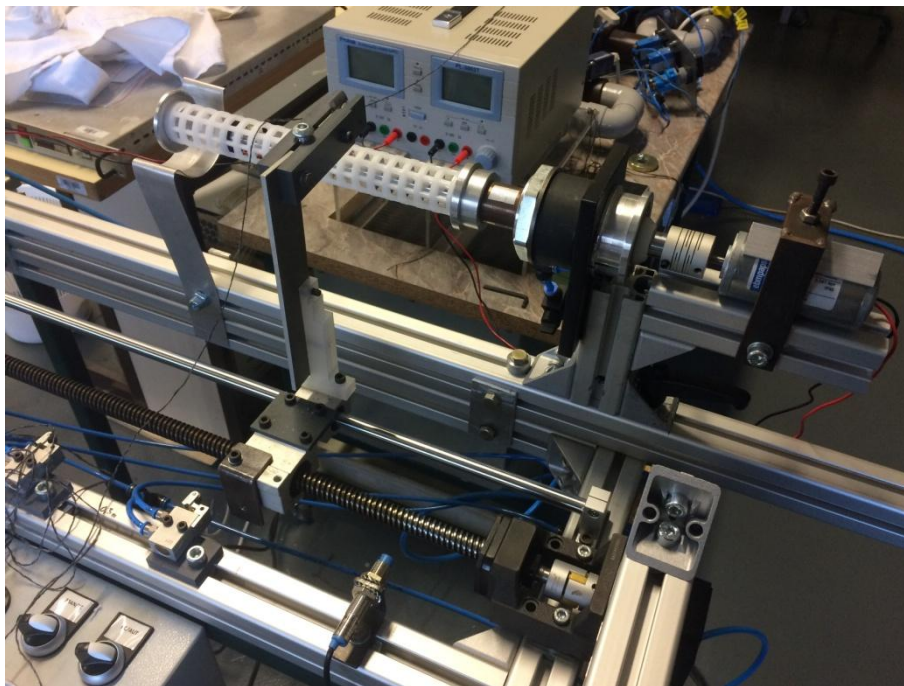


**Obrázek 69.: Zanášení komponent ve stávajícím řešení [vlastní]**



V navrhované inovaci je použita technologie střídavého proudu, kdy je vytvářena kompaktní vlečka nanovláken a tato vlečka je navíjena ve tvaru šroubovice na přízi. Díky tomu dochází k minimálnímu zanášení okolí a zlepšení oproti současnému řešení. [9]

V stávající konstrukci je navíjení na dutinu a podávání příze umístěno externě na jiném rámu a tato část není zakrytována. V inovovaném řešení jsou jednotlivé konstrukční uzly umístěny na společném rámu a lineárně na sebe navazují.



Obrázek 70.: Externí umístění navíjení u současného řešení [vlastní]

## 6 Závěr

Diplomová práce se zabývala inovací principu zařízení na výrobu jádrové příze s nanovlákný. Z této jádrové příze je navíjením vyráběn vinutý svíčkový filtr. Navržené laboratorní experimentální zařízení slouží pro výrobu prototypů filtrů, u kterých mohou být dále testovány filtrační schopnosti. K dosažení cíle práce byly použity metody inovačního inženýrství.

Nejprve byl proveden průzkum a seznámení se základními tématy, kterých se tato práce týká. Těmito tématy byla technologie výroby nanovláken a konstrukce vinutých filtračních jader. Po tomto seznámení následovala analýza stávajícího zařízení v laboratoři v Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. Na základě této analýzy byly zjištěny nedostatky stávajícího zařízení, které by měly být inovací redukovány nebo odstraněny. Dále následovalo naplánování inovace z hlediska časového rozvržení a struktury procesu. Po naplánování byl proveden patentový průzkum, díky kterému byla zjištěna nová technologie výroby nanovláken.

V počátku navrhování konceptů byla použita metoda QFD, díky které byly rozpracovány požadavky zákazníků do konkrétních parametrů inovované konstrukce. Pro samotnou tvorbu konceptů byla vytvořena morfologická matice. Z této matice byly vytvořeny čtyři koncepty a byly vytvořeny jejich základní 3D modely. Pro výběr konceptu k rozpracování byla využita metoda AHP, ve které byly koncepty hodnoceny pěti kritérii o různé váze. Nejvhodnějším konceptem na základě AHP byla varianta se střídavým napětím, která byla dále rozpracována.

Na začátku návrhu bylo nutné provést základní rozbor rychlostí a otáček příze při nanášení nanovláken. Pro ověření a stanovení základních parametrů efektu balonování byl sestaven experiment. Na základě získaných informací z experimentu mohl být vybrán servomotor FESTO EMME-AS, který splňuje požadavek na vysoké otáčky. Tento motor bude zajišťovat rotaci příze přes převod ozubeným řemenem a maximální otáčky mají hodnotu 9000 ot/min. Výpočtem pomocí programu ContiTech Suite bylo vypočteno potřebné napnutí ozubeného řemene. Na základě takto zjištěné síly byla provedena kontrola tuhosti příruby, která tvoří nosný prvek. Hodnota posunutí zjištěná pomocí metody konečných prvků byla 0,001 mm a příruba je tedy dostatečně tuhá. Dále bylo na základě experimentu vybráno zařízení podávající přízi konstantním předpětím. Jedná se o zařízení Memminger-IRO EFS 804, které má maximální hodnotu předpětí 160 cN.

Na základě předpětí příze a poloměru filtru byl stanoven potřebný moment pro navíjení a byl vybrán motor HIWIN FRLS 50W. Dalším prvkem v konstrukčním uzlu navíjení je optický senzor BALLUFF BLA 50A-001-S115, který snímá měnící se poloměr filtru a na základě těchto získaných dat jsou upravovány parametry navíjení a rozvádění příze.

Pro systém rozvádění příze byly zvoleny prvky lineárního pohonu firmy HIWIN. Konstrukce navíjení a rozvádění umožňuje použití rozměrů filtrů, které jsou požadovány na základě QFD. Rozsah délek filtrů je 200 až 400 mm a maximální průměr je 80 mm. Konstrukce sušení nanovláken je navržena pomocí normalizovaných vzduchotechnických prvků. Pro zajištění ohřevu a proudění horkého vzduchu je vybráno dmychadlo HOTWIND SYSTEM firmy Leister.

Jednotlivé konstrukční uzly jsou umístěny v rámu z hliníkových profilů. Všechny sekce jsou zakrytovány průhledným polykarbonátem a po obvodu jsou rozmístěny dveře pro zajištění přístupu. Díky tomu je splněn požadavek na uzavřený zvlákňovací prostor. Všechny vodivé součásti jsou umístěny v dostatečné vzdálenosti od elektrody, aby byla zachována bezpečnost při provozu. Celá konstrukce splňuje požadavek na zástavbovou plochu do 10 m<sup>2</sup> a výška činí 2 m. Na základě vzorku z prototypového zařízení využívající střídavé napětí pro výrobu nanovláken byla provedena kontrola zvýšení produktivity v nanášení nanovláken pomocí mikroskopu.

V diplomové práci byla navržena konstrukce splňující cílové parametry a parametry vycházející z QFD. V návrhu je využita patentovaná technologie výroby nanovláken a patentovaný tvar elektrody.

<b>Parametr</b>	<b>Cílová hodnota</b>	<b>Dosažená hodnota</b>
Délka filtru	250 mm	200 až 400 mm
Vnitřní průměr filtru	27 mm	27 mm
Vnější průměr filtru	45 mm	33 až 80 mm
Jemnost příze	80 tex	30 až 200 tex
Počet operátorů	2	2
Procento zakrytí povrchu příze nanovláknem	50%	70 %
Rychlost průchodu příze zařízením	100 m/min	100 m/min
Regulace utahovací síly při navíjení	Elektron., přesnost 0,1 N	Elektron., přesnost 0,001 N

## **Seznam literatury:**

[1] Depth vs. Surface Filtration [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z:

<http://www.fdpp.com/depthsurface.htm>

[2] Filtrační svíčky s hloubkovou filtrací [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z:

<http://filtrationgroup.cz/wp-content/uploads/2016/01/ama-TECH.jpg>

[3] Drawing technique [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-the-basic-production-process-of-nanofibers-by-drawing-technique\\_fig1\\_270003403](https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-the-basic-production-process-of-nanofibers-by-drawing-technique_fig1_270003403)

[4] Melt-blown [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z:

[https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/1009/mod\\_resource/content/2/Netkan%C3%A9%20textilne-technologie2.pdf](https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/1009/mod_resource/content/2/Netkan%C3%A9%20textilne-technologie2.pdf)

[5] Electrospinning [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-electrospinning-setup-Nanospider\\_fig6\\_258400484](https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-electrospinning-setup-Nanospider_fig6_258400484)

[6] CZ 304 137 B6 [online]. Uděleno 2013-10-02. Dostupné z:

<http://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/Patents/FullDocuments/304/304137.pdf>

[7] NANOFIBER PRODUCTION APPARATUS. US 2017/0016146A1. Uděleno

2016-09-27.

[8] DEVICES AND METHODS FOR THE PRODUCTION OF MICROFIBERS AND NANOFIBERS HAVING ONE OR MORE ADDITIVES. US 9,527,257 B2. Uděleno

2016-12-27.

[9] CZ 306 428 B6 [online]. Uděleno 2016-12-07. Dostupné z:

<http://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/Patents/FullDocuments/306/306428.pdf>

[10] Realizace metody AHP v prostředí tabulkového kalkulátoru [online]. [cit. 2018-03-28].  
Dostupné z:

[http://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/25436/Shejbal\\_Realizace%20metody\\_Cast%201\\_P\\_2006.pdf?sequence=1](http://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/25436/Shejbal_Realizace%20metody_Cast%201_P_2006.pdf?sequence=1)

[11] Podavač příže Memminger IRO EFS 800 [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:  
<https://www.memminger-iro.de/en/fournisseure/efs-800.php?thisID=115>

[12] Typy vinutí [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:

<http://heirloomquiltingdesigns.com/what-machine-do-you-use-part-2/>

[13] Lineární osy HIWIN KK-F [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:

[http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy-new/linearni-osy/osy-s-kulickovym-sroubem/linearni-osy-kk/linearni-osy-kk-typ-f/338\\_linearni-osa-kk60-typ-f](http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy-new/linearni-osy/osy-s-kulickovym-sroubem/linearni-osy-kk/linearni-osy-kk-typ-f/338_linearni-osa-kk60-typ-f)

[14] Servomotor FRLS [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:

<http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy-new/motory/servo-motory>

[15] Spojky Oldham [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:

[http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy-new/linearni-osy/osy-s-kulickovym-sroubem/linearni-osy-kk/prislusenstvi-linearni-osy-kk/342\\_hridelove-spojky-oldham](http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy-new/linearni-osy/osy-s-kulickovym-sroubem/linearni-osy-kk/prislusenstvi-linearni-osy-kk/342_hridelove-spojky-oldham)

[16] Servomotor Festo EMME-AS [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:

[https://www.tsisolutions.us/ecomm\\_images/items/medium/emme-as-40-s-lv-asb.jpg](https://www.tsisolutions.us/ecomm_images/items/medium/emme-as-40-s-lv-asb.jpg)

[17] Řemenice TYMA HTD [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:

<https://www.tyma.cz/thn/zs-htd.jpg>

[18] Senzor BALLUFF BLA 50A-001-S115 [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z:

[http://usa.balluff.com/manuals/BLA/BLA\\_IO\\_Link%20manual.pdf](http://usa.balluff.com/manuals/BLA/BLA_IO_Link%20manual.pdf)

[19] HOTWIND SYSTEM [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z:

<https://www.leister.com/en/process-heat/processes/hotwind-system>

## Seznam obrázků:

Obrázek 1.: Povrchová a hloubková filtrace [1] .....	12
Obrázek 2.: Filtrační svíčky [2].....	13
Obrázek 3.: Drawing [3].....	14
Obrázek 4.: Melt-Blown [4] .....	14
Obrázek 5.: Electrospinning [5] .....	15
Obrázek 6.: Zvlákňování střídavým proudem [6] .....	16
Obrázek 7.: Stávající řešení - Celkový pohled [vlastní].....	17
Obrázek 8.: Stávající řešení - Připojení elektrody [vlastní] .....	18
Obrázek 9.: Stávající řešení - Navlečená příze na válci [vlastní].....	18
Obrázek 10.: Stávající řešení - Strunová elektroda firmy Elmarco [vlastní] .....	19
Obrázek 11.: Stávající řešení - Zanášení válců polymerem [vlastní].....	19
Obrázek 12.: Plánování inovace [vlastní].....	20
Obrázek 13.: Ganttův diagram [vlastní] .....	21
Obrázek 14.: Zvlákňování horkým vzduchem [7].....	23
Obrázek 15.: Zvlákňování odstředivou silou [8].....	24
Obrázek 16.: Zvlákňování střídavým proudem [9] .....	25
Obrázek 17.: Koncept 1.1 [vlastní] .....	30
Obrázek 18.: Koncept 1.2 [vlastní] .....	30
Obrázek 19.: Koncept 1.3 [vlastní] .....	31
Obrázek 20.: Koncept 2.1 [vlastní] .....	32
Obrázek 21.: Koncept 2.2 [vlastní] .....	32
Obrázek 22.: Koncept 2.3 [vlastní] .....	33
Obrázek 23.: Koncept 3.1 [vlastní] .....	34
Obrázek 24.: Koncept 3.2 [vlastní] .....	34
Obrázek 25.: Koncept 3.3 [vlastní] .....	35
Obrázek 26.: Koncept 4.1 [vlastní] .....	36
Obrázek 27.: Koncept 4.2 [vlastní] .....	36
Obrázek 28.: Koncept 4.3 [vlastní] .....	37
Obrázek 29.: Schéma AHP [10].....	38
Obrázek 30.: Nanášení nanovláken při balonování [vlastní] .....	45
Obrázek 31.: Vytvoření stupnice předpětí [vlastní] .....	48
Obrázek 32.: Použitá závaží a vytvořená stupnice [vlastní].....	48

Obrázek 33.: Upnutí příze [vlastní].....	49
Obrázek 34.: Umístění milimetrového papíru [vlastní] .....	49
Obrázek 35.: Umístění fotoaparátu [vlastní] .....	50
Obrázek 36.: Průměr balonu při rotaci [vlastní].....	50
Obrázek 37.: Servomotor EMME-AS [16] .....	51
Obrázek 38.: Řemenice TYMA HTD [17].....	52
Obrázek 39.: Nerezový kroužek pro vyosení příze [vlastní].....	53
Obrázek 40.: Celkový pohled na sestavu rotace [vlastní] .....	53
Obrázek 41.: Příruba [vlastní] .....	54
Obrázek 42.: Výpočet napnutí řemene [vlastní].....	54
Obrázek 43.: Kontrola tuhosti příruby [vlastní] .....	55
Obrázek 44.: Zatížení ložiska [vlastní].....	56
Obrázek 45.: Výsledky kontroly životnosti ložiska [vlastní] .....	56
Obrázek 46.: Elektronický podavač příze EFS 800 [11].....	57
Obrázek 47.: Silové působení při navíjení [vlastní] .....	58
Obrázek 48.: Základní parametry motoru FRLS 50W [14] .....	58
Obrázek 49.: Rozklad rychlostí [vlastní].....	59
Obrázek 50.: Snímání průměru optickým senzorem [vlastní].....	60
Obrázek 51.: Senzor BALLUFF BLA 50A-001-S115 [18].....	60
Obrázek 52.: Sestava navíjení [vlastní] .....	61
Obrázek 53.: Upnutí filtru [vlastní].....	62
Obrázek 54.: Rovnoběžné vinutí [12] .....	63
Obrázek 55.: Křížové vinutí [12] .....	63
Obrázek 56.: Lineární osa HIWIN s krycím plechem [13] .....	64
Obrázek 57.: Servomotor FRLS [14] .....	64
Obrázek 58.: Hřídelové spojky Oldham [15] .....	64
Obrázek 59.: Potřebný přesah při navíjení [vlastní].....	65
Obrázek 60.: Sestava rozvádění příze [vlastní] .....	66
Obrázek 61.: HOTWIND SYSTEM [19].....	67
Obrázek 62.: Sušící komora s horkovzdušným dmychadlem [vlastní].....	68
Obrázek 63.: Navržený rám [vlastní] .....	69
Obrázek 64.: Celkový boční pohled [vlastní].....	70
Obrázek 65.: Celkové rozměry [vlastní] .....	70
Obrázek 66.: Nanášení nanovláken střídavým napětím [vlastní].....	71

Obrázek 67.: Nanesená nanovláknna (bílá) na základové přízi (černá) [vlastní].....	71
Obrázek 68.: Srovnání stávající kvality nanášení a navrhované technologie [vlastní] .....	72
Obrázek 69.: Zanášení komponent ve stávajícím řešení [vlastní].....	72
Obrázek 70.: Externí umístění navíjení u současného řešení [vlastní].....	73



## Seznam tabulek:

Tabulka 1.: Základní cílové parametry .....	11
Tabulka 2.: Korelační matice inovačních příležitostí.....	21
Tabulka 3.: Inovační prohlášení .....	22
Tabulka 4.: Požadavky uživatelů zařízení.....	26
Tabulka 5.: Matice QFD.....	27
Tabulka 6.: Morfologická matice .....	29
Tabulka 7.: Kritéria hodnocení s váhovými koeficienty .....	40
Tabulka 8.: Vlastní vektor kritérií .....	40
Tabulka 9.: Hodnocení dle komplexity .....	41
Tabulka 10.: Vlastní vektor komplexity.....	41
Tabulka 11.: Hodnocení dle zralosti řešení .....	41
Tabulka 12.: Vlastní vektor zralosti řešení.....	42
Tabulka 13.: Hodnocení dle čištění/servisovatelnosti.....	42
Tabulka 14.: Vlastní vektor čištění/servisovatelnosti .....	42
Tabulka 15.: Hodnocení dle ceny.....	43
Tabulka 16.: Vlastní vektor ceny .....	43
Tabulka 17.: Hodnocení dle možnosti úpravy .....	43
Tabulka 18.: Vlastní vektor možnosti úpravy .....	44
Tabulka 19.: Závěrečný výpočet s výsledkem .....	44